



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**  
Villamosmérnöki és Informatikai Kar  
Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Berke Dávid

**LÉGIFELVÉTELEK ÁTFEDÉS VIZSGÁLATÁT  
MEGVALÓSÍTÓ ALGORITMUS TERVEZÉSE ÉS  
FEJLESZTÉSE 3D-S VIZUALIZÁCIÓ  
ELLENŐRZÉSE CÉLJÁBÓL**

KONZULENSEK

Dr. Kovács Kálmán (BME HIT)  
Balla Csilla (FÖMI)

BUDAPEST, 2015

# Összefoglaló

Az információs társadalom egyik, napjainkban egyre inkább megmutatkozó problémája a nagymennyiségű adatsokaságok hatékony kezelése, elemzése és kiértékelése, ami hatékony informatikai eszközök és algoritmusok nélkül elképzelhetetlen. Ez alól a térinformatikai adatfeldolgozás és modellezés területe sem kivétel, amivel már több éve foglalkozom egyetemi tanulmányaim keretein belül. Dolgozatomban egy általam tervezett, speciális térinformatikai és ezen belül fotogrammetriai elemzési feladat automatizált elvégzését megvalósító algoritmust mutatok be.

A távérzékelés egyik eszköze a légifelvételzés, mely során speciálisan kialakított légifényképező egységekről, mérő kamerákkal készítenek felvételeket a Föld felszínéről. A jelenlegi technológia lehetővé teszi a szakemberek számára, hogy a felvételek segítségével elkészítsék és elemezzék a terep 3D-s magassági és felszínmodelljét. Ezek felhasználásával a térbeli elemzések három dimenzióban végezhetőek el, úgy az épített, mint a mezőgazdasági, vagy természeti környezet vizsgálata során.

A felszínmodell elkészítéséhez olyan légifelvételekre van szükség, melyek a feldolgozandó terület egészére sztereó fedést biztosítanak, azaz minden terepi pont – jó néhány geometriai feltétel mellett – legalább két képen képződik le, lehetővé téve ezzel egy 3D virtuális térben történő leképezést. A fotogrammetria ezt tervezett repülési sorok, tömbök tervezésével oldja meg. A légifényképezési tömbök feldolgozása során az egyik fontos teljesítendő elvárás, az egymást követően készülő képek közötti, azaz (repülési) soron belüli, illetve a (repülési) sorok közötti megfelelő átfedés megléte. Munkám során egy olyan elemzési algoritmust terveztem és valósítottam meg, amely légifelvétel sorozatok metaadatai alapján vizsgálja az átfedési adatokat.

Dolgozatom első részében a fotogrammetria – a munkám szempontjából releváns – területeit tekintem át a hazai és nemzetközi szakirodalom segítségével, melyben részletesen tárgyalom a légifelvételzés és a sztereó modell alkotás folyamatát. Munkám második része az általam tervezett algoritmus bemutatását, annak térinformatikai alkalmazásba történő integrálását, valamint egy teszt adatokon végzett kiértékelés folyamatát foglalja magába. Külön fejezetben vizsgálom a tervezés és futtatás során felmerülő és megoldott feladatokat, valamint a lehetséges fejlesztési, alternatívákat.

Dolgozatomat az általam fejlesztett alkalmazás vállalati környezetben történő felhasználásának bemutatásával zárom.

# Abstract

One of the increasingly manifested problems of information society is the management, analysis and evaluation of large amounts of data. Nowadays data managing is unthinkable without efficient IT tools and algorithms. These problems also exist for GIS, with which I have been dealing for several years. In this work I am going to present a special algorithm, which I was designed to automatically analyze a special GIS and photogrammetric task.

One of the tools of remote sensing is aerial survey in which special air units make images of the surface of the Earth with measuring cameras. Current technology allows specialists to create and analyze the elevation and surface model of the Earth. This tools allow to agricultural, construction and environmental analyzes can be performed in three dimensions.

We need special aerial images, which provide stereo coverage for an entire test area. Every single point of the area has to be complied with several geometrical conditions, as well as every point must be mapped at least two images. In this case, the three dimensional mapping process becomes possible. Photogrammetry accomplishes that task to processing of flight lines and blocks. Inside those flight blocks one of the most important condition is the existence of an adequate overlap value between sequential images (within the given flight line or between flight lines). During my work I was designed and implemented an analytical algorithm, which uses the metadata of image sequences to examine the overlap parameters.

In the first part of my work I am going to overview the main areas of photogrammetry, which is relevant for my theme. This part going to include the methods of aerial imaging as well as the process of stereo imaging. The second part of my writing is going to stand a presentation of the self-designed algorithm, the integration of a special GIS application, as well as an evaluation process which is based on test data files. I am going to present some engineering tasks in a separate chapter, which had to be solved in a design or a running phase of my work and I am going to discuss some possible development alternatives. In the end of my writing I am going to introduce a usability of my application in a particular industrial environment.

# Tartalomjegyzék

<b>Összefoglaló</b> .....	<b>2</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>4</b>
<b>1. Bevezetés</b> .....	<b>6</b>
1.1 Témaválasztás indoklása, körülményei .....	6
1.2 Munkám rövid ismertetése.....	6
1.3 A dolgozat tematikus felépítése .....	7
<b>2. Fotogrammetriai áttekintés</b> .....	<b>8</b>
2.1 Légifelvételzés .....	8
2.2 Az EOV és EOTR rendszer ismertetése .....	13
2.3 Sztereo modellalkotás és felhasználás .....	15
<b>3. Átfedés vizsgálati algoritmus tervezése</b> .....	<b>21</b>
3.1 A modellezési feladat részletezése.....	21
3.2 Szomszédosság vizsgálat .....	21
3.3 Átfedési értékek meghatározása .....	23
3.4 Poligon osztályozás.....	24
3.5 Határterület ellenőrzés .....	25
<b>4. Az algoritmus GIS-be történő integrálása, tesztelése</b> .....	<b>31</b>
4.1 QGIS integráció .....	31
4.2 Az alkalmazás funkcionális felépítése .....	32
4.3 Felhasználó-szintű menedzselés .....	34
4.4 Tesztadatok elemzése, kiértékelése .....	36
<b>5. Felhasználhatóság</b> .....	<b>41</b>
5.1 Az algoritmus és az alkalmazás korlátainak vizsgálata .....	41
5.2 Az eljárás vállalati környezetben történő felhasználása .....	43
5.3 Fejlesztési és alkalmazási lehetőségek .....	44
<b>6. Köszönetnyilvánítás</b> .....	<b>45</b>
<b>Irodalomjegyzék</b> .....	<b>46</b>
<b>Ábrajegyzék</b> .....	<b>48</b>

# 1. Bevezetés

Munkám első fejezetében az általam megvalósított feladatot, a megvalósítás körülményeit, valamint a dolgozat felépítését tárgyalom.

## 1.1 Témaválasztás indoklása, körülményei

Napjaink egyik fontos és megoldásra váró informatikai feladata a nagymennyiségű adatok automatikus kezelése, menedzselése; mely alól a térinformatika sem kivétel. Az informatika ezen ágával még BSc-s hallgatóként ismerkedtem meg, az ekkor elkezdett modellezési feladatokat az MSc-s tanulmányaim alatt tovább folytattam. A kötelező szakmai gyakorlatom idejét olyan szervezetnél szerettem volna tölteni, mely térinformatikára, térinformatikai adatkezelésre specializálódott. A *Földmérési és Távérzékelési Intézet (FÖMI)*, *Fotogrammetriai* osztályán töltött négy hét alatt lehetőségem nyílt egy konkrét adatfeldolgozási és –elemzési probléma modellezésére, térinformatikai szoftverbe történő integrálására.

## 1.2 Munkám rövid ismertetése

Feladatom egy speciális fotogrammetriai feladat megoldásának modellezése volt, kiegészítve a számítógéppel történő automatizálási folyamat kivitelezésével. A munka során egy olyan adatfeldolgozási és –elemzési algoritmust terveztem meg, melyet valós térinformációs rendszerbe integrálva, légifelvétel sorozatok metaadatai alapján vizsgálja a 3D-s sztereo képalkotás bizonyos feltételeit. Eredményül egy olyan újszerű, szoftveres elemzési és ellenőrzési lehetőség vált elérhetővé, amely eddig nem, vagy csak korlátozott mértékben állt rendelkezésre.

A modellezési feladat elvégzéséhez, a készített algoritmus teszteléséhez rendelkezésemre álltak a *FÖMI* eszközei, adatai, ezen kívül lehetőségem nyílt bepillantást nyerni a sztereo munkaállomásokon végzett elemzési és hibakezelő tevékenységbe. A modellezési és algoritmizálási részfeladatok hatékony elvégzésének érdekében, a meglévő informatikai ismereteim mellé igyekeztem a szükséges térinformatikai és fotogrammetriai szakirodalmat áttekinteni.

### 1.3 A dolgozat tematikus felépítése

Dolgozatomat az általam választott téma rövid bemutatásával kezdtem az *1. Bevezetés* fejezetben. A továbbiakban a *2. Fotogrammetriai áttekintés* pontban egy bővebb áttekintést adok a légifelvételzés, a sztereo modell alkotás témaköreiben. Az egyes részterületek vizsgálatánál azokat a jellegzetességeket elemelem ki, melyek egyrészt rávilágítanak a légifelvételek készítésének és kiértékelésének komplexitására, másrészt kapcsolódnak az általam végzett modellezési, algoritmizálási feladathoz. Az irodalom áttekintésének részeként, az Egységes Országos Vetület (*EOV*) rendszerét külön alfejezetben mutatom be.

A téma áttekintését követően térek rá a saját munka bemutatására. Ennek első lépéseként a „*3. Átfedés vizsgálati algoritmus tervezése*” című fejezetet az elvégzett modellezési feladat részletezésével indítom, majd lépésről lépésre mutatom be az algoritmus tervezésének jól elkülöníthető szakaszait, fázisait.

Az elkészített algoritmus alkalmazásba történő integrációját és tesztelését külön fejezetben foglalom össze (*4. Az algoritmus GIS-be történő integrálása és tesztzése*), elsőként az elkészített alkalmazás funkcióit, felhasználó-szintű kezelését mutatom be. A tesztadatokon végzett elemzések kiértékelésére nagy hangsúlyt fektetek, hiszen a kiértékelés sokszínűsége egyfajta előrevetítés az alkalmazás gyakorlati felhasználását tekintően.

Egy kész alkalmazás gyakorlati felhasználhatóságának mérése nem egyszerű feladat, ezt a kérdéskört az „*5. Felhasználhatóság*” fejezet érinti. *Elméleti szempontból* az algoritmus és az alkalmazás oldala külön kerül megvizsgálásra, *gyakorlati szempontból* pedig az eljárás vállalati környezetben történő felhasználását mutatom be. A két szempont vizsgálata alapján térek ki több fejlesztési lehetőségre és alternatívára.

Dolgozatom befejező része a „*6. Összefoglalás*”, melyben a modellezés és tesztelés folyamatát foglalom össze, amit a témával kapcsolatos személyes gondolataimmal zárok.

## 2. Fotogrammetriai áttekintés

A Föld felszínének vizsgálatához és ábrázolásához a repülés technológiájának megismerése előtt kizárólag terepen végzett – közvetlen – méréseket használtak. A távérzékelés és ezen belül a fotogrammetria ezzel szemben elsősorban olyan módszereket alkalmaz, melyek a vizsgált területtel, az azon található tereptárgyakkal, objektumokkal csak közvetett módon – a gyakorlatban többnyire szoláris eredetű elektromágneses sugárzás rögzítésén keresztül – teremt kapcsolatot. A távérzékelés során többféle adatgyűjtő berendezést (szenzort) alkalmazhatunk. A passzív távérzékelési rendszerek egy adott tárgy által kibocsátott (emittált), illetve visszavert (reflektált) természetes sugárzást mérik. Az aktív távérzékelő rendszerek az adó által kibocsátott elektromágneses sugárzásnak a tárgyról visszaverődött részét rögzítik [3] [4], [20], [21]. Az előbbi, azaz passzív távérzékelés alapelve a munkám során megismert légifelvételek készítésének is.

A *fotogrammetria* a terep geometriájának, és az azon lévő „tereptárgyak” *helyzetének és alakjának meghatározására* szolgál. A *képfeldolgozás módszerei* viszont elsősorban a felvételeken szereplő *objektumok azonosítását* teszi lehetővé, tehát annak vizsgálatát teszi lehetővé, hogy mi az, amit egy adott légifelvételen látunk, mi található a vizsgált területen ([1]: *Bevezetés, pp. 13-15., [2]*).

### 2.1 Légifelvételezés

A légifelvételek készítése során a felvételt készítő ún. mérőkamerák a Nap által kibocsátott és a terepről, tereptárgyaktól visszavert elektromágneses sugárzás intenzitásának értékét mérik [3]. A légifelvétel-készítés áttekintése előtt a természettudományos alkalmazási területek közül ismertetek néhányat.

#### 2.1.1 A légifelvételezés története, alkalmazási területei [4], [5]

A *térképészet* a repülési technika megjelenése előtt döntően helyszíni megfigyeléseken és méréseken alapult. Az első légből készített felvételeket az 1800-as évek közepén készítették galambokra vagy papírsárkányra rögzített fényképezőgépekkel, mely kezdetleges megoldásokat a hőlégballonok alkalmazása váltotta fel. A repülőgépek elterjedésével, a biztonságos légi közlekedés megalapozásához elengedhetetlen volt a légifelvételek és a távérzékelés széleskörű elterjedése. Az 1970-es évekig – az első kutató műholdak megjelenéséig – leginkább a katonai alkalmazások terjedtek el [6]. A



repülőgépekről történő – nem katonai célú – felvételkedészítés elterjedésével a térképészet egyes területein a fotogrammetria vette át a vezető szerepet [5].

Magyarországon az 1980-as évekre nyúlik vissza a légifelvételek nem katonai célú felhasználása. A legelső alkalmazások környezetvédelmi, mezőgazdasági és geológiai célúak voltak, melyek során a talaj- és kőzettípusok, növényi vegetáció jellemzőit vizsgálták. Az ország teljes területét érintő légi-felvételezésnek az igénye az 1990-es évekre tehető. A légifelvételek, ortofotók mezőgazdasági célú alkalmazásának, elsősorban a Mezőgazdasági Parcella Azonosító Rendszer (*MePAR*) megteremtésének és üzemeltetésének feladatán keresztül a *Földmérési és Távérzékelési Intézet* a 2000-ben végrehajtott első országos légifelvételezés óta irányítja és felügyeli e szakterület képi alapadattal való ellátását. A MePAR feladatokhoz készülő légifelvételekhez és ortofotókhoz természetesen minden más szakterület hozzáférhetősége biztosított. Az Európai Unióba való belépést követően egyre nagyobb szerephez jutott a hazai kutatási szféra, ezáltal pedig a légi-felvételezéssel is foglalkozó kutatási központok (pl. Debreceni Egyetem, Gábor Dénes Főiskola, Pannon Egyetem, Szent István Egyetem), melyek a távérzékelési adatok feldolgozásán és kiértékelésén felül légifelvételek elkészítésével is foglalkoznak [6].

További, társadalmi szempontból fontos felhasználási terület a katasztrófavédelem, ahol megemlítenő a 2000-es nagybányai ciánszennyezés, valamint a 2010-es kolontári vörösiszap katasztrófa légifelvételezése. A légifelvételek alkalmazásának egyik – a katasztrófavédelem szempontjából jelentős – előnye, hogy segítségükkel nyomon követhetők a különböző környezeti változások, még az olyan területeken is, melyek ember számára nehezen vagy egyáltalán nem közelíthetők meg.

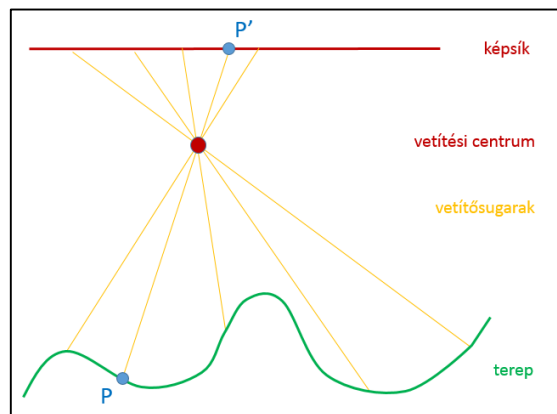
Az eddig számba vett alkalmazási területek a gyakorlatban elterjedt síkbeli (2D-s) képek vizsgálatán kívül nagy hasznát vehetik az egyre inkább elterjedő 3D-s megjelenítés és modellezés előnyeinek. Egy adott terület faállományának, a tárolt vízmennyiség becslésének alapja lehet a területről gyűjtött magassági adatok; a 2010-es kolontári vörösiszap katasztrófa esetében az események utólagos rekonstrukciójához, a kiömlött vörösiszap mennyiségének kiszámításához légifelvételekből nyert és elemzett 3D-s (térbeli) adatok is feldolgozásra kerültek [7].

Az eddigiek alapján elmondható, hogy környezetünk megismerésében és megóvásában is jelentős szerepet tölthetnek be a légifelvételek, ezért a továbbiakban

készítésükkel és feldolgozásukkal kapcsolatos módszereket, eljárásokat és jellegzetességeket ismertettek.

### 2.1.2 A centrális vetítés módszere, paramétere [1], [2]

A légből vizsgált területen lévő objektumok helyzetének és alakjának pontos meghatározásához felhasználandó felvételek nagy része ún. *centrális vetítéssel* készül. Ha kiválasztjuk a tér egy tetszőleges pontját (*vetítési centrum*), mely ponton át olyan egyeneseket húzunk, melyek „döfik” a vizsgált terep egy-egy pontját (*vetítősugarak*) és ezekkel a terepi pontokból kiinduló vetítősugarak – a vetítési centrumon túli – meghosszabbítását egy síkkal (*képsík*) elmetsszük, akkor megkapjuk a pontok centrálisan vetített képét. A terepen tetszőlegesen kiválasztott  $P$  pont, annak vetített képe ( $P'$ ) és a *vetítési centrum*, egy egyenesen helyezkednek el (1. ábra).

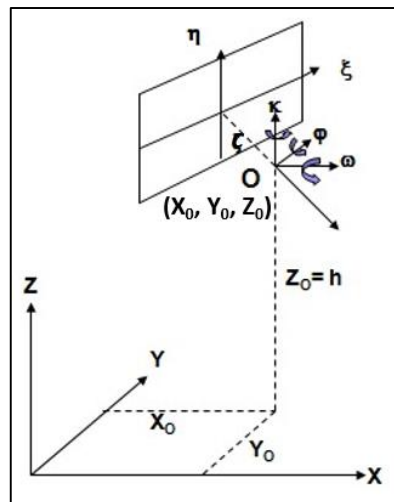


1. ábra: A centrális vetítés módszere ([2] - 5. ábra alapján)

A vizsgált terület *térbeli rekonstrukciója* is a *centrális vetítés* módszerével valósítható meg. Tetszőleges térbeli tárgy pontjainak ( $X$ ,  $Y$  és  $Z$  koordinátáinak) vetítése során megmutatható, hogy mindhárom koordináta egyszerre nem rekonstruálható csupán egyetlen felvétel felhasználásával. A magassági értéket leíró  $Z$  koordináta meghatározásához a tárgyról készített másik felvétel, vagy előzetes magassági adatokat tartalmazó adatbázis megléte szükséges.

Egy adott tereppont térbeli helyzetének sztereó (két képes) fotogrammetriai meghatározásának első lépése, hogy a tereppontot rögzítő felvételek – a felvételkészítés pillanatában értelmezett – helyzetét meghatározzuk, így a tereppont és a két képsíkon elfoglalt térbeli helyzetét visszaállítjuk. Ezután már előállítható egy ún. virtuális tér, melyben a tereppont mindhárom koordinátájának mérése megtörténhet. Egy kép térbeli helyzetét meghatározó adatokat *belső* és *külső tájékozási elemeknek* nevezi a szakirodalom ([1]: 2.3 A tér centrális vetítése, pp. 28-32). A *belső tájékozási elemek* közé

tartozik a vetítési pont képfőpontjának<sup>1</sup> két – síkbeli – koordinátája:  $(\xi_o, \eta_o)$ , valamint a képsík és vetítési centrum ( $O$ ) távolsága ( $c$ ), az ún. kameraállandó. Közös jellemzőjük, hogy kizárólag a mérőkamera<sup>2</sup> – belső – beállításától függenek. A *külső tájékozási elemek* a vetítési centrum és a kép helyzetét határozzák meg, az ún. tárgyter<sup>3</sup> koordinátarendszerében. Ezek közé tartoznak a vetítési centrum koordinátái  $(X_o, Y_o, Z_o)$ , valamint a felvétel elforgatásának három paramétere  $(\omega, \varphi, \kappa)$ . A felsorolt 3 belső és 6 külső tájékozási elem együttesen határozza meg azt a képsíkot, melyen egy tetszőleges  $P$  tereppont  $X, Y, Z$ , terepi koordinátái<sup>4</sup> alapján számíthatók az  $\xi, \eta$  képkoordináták és viszont (lásd 2. ábra).



2. ábra: A tér centrális vetítése

### 2.1.3 Az ortogonális vetítés [2]

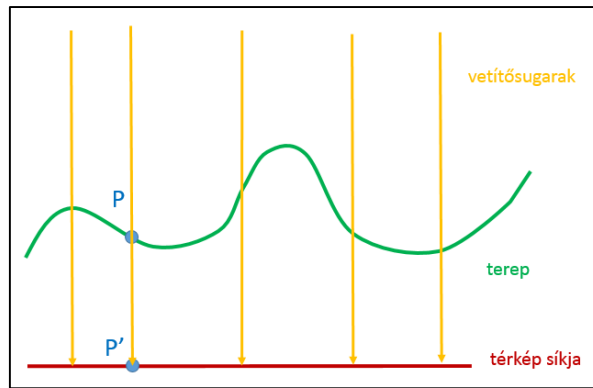
A centrális vetítésen kívül érdemes megvizsgálni az ortogonális vetítést, amely speciális eljárás során a *képsíkot* (közelítve) a tengerszint magasságában elképzelt virtuális vízszintes síknak választják, amire a *vetítősugarak* merőlegesek (lásd 3. ábra). Vízszintes terep esetén a vizsgált terep és az ortogonális vetületi síkrendszer között mindekét irányba egyértelmű lesz a kapcsolat. Síktól eltérő domborzati viszonyok esetén a vetített képből a terep domborzati viszonyai csak akkor állíthatók vissza egyértelműen, ha rendelkezésre állnak a domborzati pontok magassági értékei, vagy az ún. topográfiai térképek esetén használt szintvonalak.

<sup>1</sup> Képfőpont: a vetítési centrum képsíkra illeszkedő talppontja.

<sup>2</sup> Mérőkamera: a légifelvételt készítő, digitális kamera.

<sup>3</sup> Tárgyter: két- vagy háromdimenziós tárgykoordináta-rendszer (pl. EOVS).

<sup>4</sup> Terepi koordináta: két- vagy háromdimenziós lokális koordináta-rendszer.



**3. ábra: Az ortogonális vetítés módszere**

([2] - 4. ábra alapján)

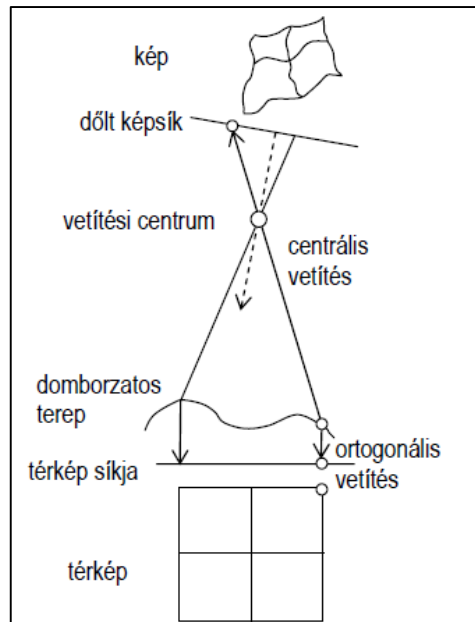
„A távérzékelt képek centrális vetítéssel készülnek. A térkép és a legtöbb geoinformatikában alkalmazott vetületi rendszer viszont ortogonális vetülete a földfelszínnek. A távérzékelt perspektivikus képet vagy digitális képet perspektív torzulásoktól mentes képre, illetve digitális képre alakítjuk át. A perspektivikus torzításoktól mentes képet ortofotónak, a digitális képet digitális ortofotónak nevezzük.” [11].

#### **2.1.4 A perspektív torzulás okai [1], [2]**

A fotogrammetriai elemzés során a vizsgált terep a centrális (*képsíkra*) és az ortogonális „elméleti” vetítéssel (*vetítési síkra*) előállított képük alapján jellemezhető. A kétfajta vetítési eljárás során kapott „képek” nem feltétlenül lesznek egybevágók. Az egyes eltéréseket torzulásnak nevezzük, melyek nem hibák, hanem az különböző vetítési eljárások eltérő geometriai tulajdonságaiból erednek. A terep ortogonális vetített képét torzulásmentesnek véve, ehhez viszonyítva állapíthatóak meg a vizsgált terep centrális vetítéséből fakadó ún. perspektív torzulásai.

A perspektív torzulás főbb okai: a *kép dőlése*, amikor a képsík és a vetítési sík nem párhuzamos egymással; és a terep *magasságkülönbségei*, amikor vizsgált tereptárgy és a vetítési sík közti távolság nem állandó.

A légifényképezés során nem biztosítható, hogy a készített mérőkép síkja tökéletesen vízszintes (azaz a vetítési síkkal párhuzamos) legyen, hiszen a repülőgép a légmozgás folyamatosan változó hatásait nem tudja tökéletesen korrigálni (*képdőlés*). A vetítési sík és a terep felszíne közti távolság állandósága sem biztosítható, hiszen a domborzat magassági értékei sem állandóak (*magasságkülönbség*). Ebből kifolyólag légifelvételezés során mindkét torzító tényezővel számolnunk kell (lásd 4. ábra).



4. ábra: A képdőlésből és magasságkülönbségből fakadó torzítás szemléltetése

(forrás: Mélykúti G.: Fotogrammetria hallgatói segédlet, 6/d ábra)

A perspektív képtorzulások megszüntetésére több módszer is létezik, de ismertetésük túlmutat a TDK dolgozat keretien.

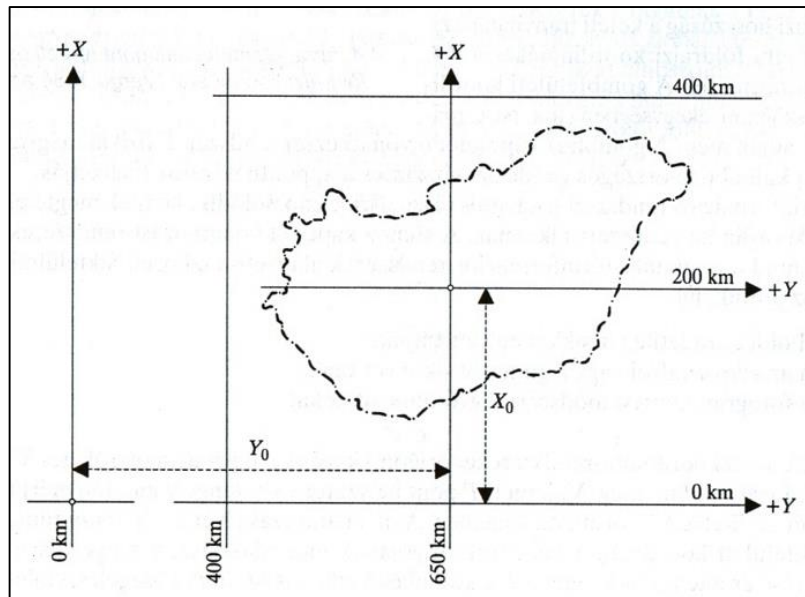
## 2.2 Az EOVS és EOTR rendszer ismertetése

A vetületi rendszereknek számos fajtája, típusa létezik. A vizsgált terület jellegétől, kiterjedtségétől, valamint a készített térkép felhasználási módjától függően alkalmazhatók területtartó, szögtartó, alakzattartó eljárások. Közös jellemzőjük, hogy kivétel nélkül valamely geometriai torzítást tartalmaznak, hiszen a Föld geoid alakjának sík felületen történő torzításmentes megjelenítése nem lehetséges.

### 2.2.1 Egységes Országos Vetület [8], [9]

Az Egységes Országos Vetület (EOVS) egy 1975-ben bevezetett ún. ferde tengelyű redukált hengervetület, mely során a vetítés a virtuális henger palástjára történik. Magyarország kiterjedése következtében a hengervetület által általánosságban okozott torzító hatások (pl. területi eltérés) elhanyagolhatónak mondhatók.

Az EOVS koordináta-rendszer origóját az 5. ábrán látható módon az ország területétől kívül helyezték el azért, hogy negatív koordináták ne essenek az ország területére, illetve, hogy az X és Y koordináták ne vehessenek fel azonos értéket.

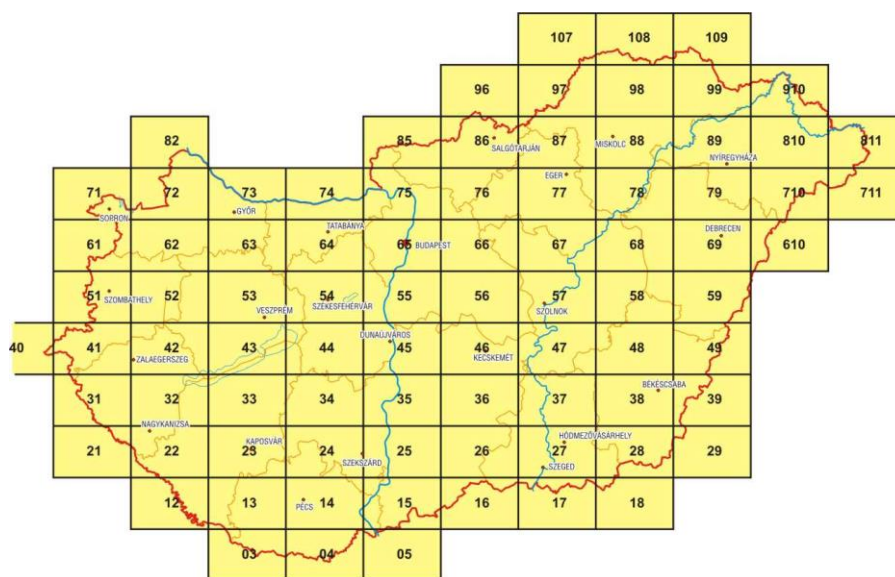


5. ábra: Az EOVS koordinátarendszere (Varga 1986 és [2] alapján)

Az  $X$  és  $Y$  koordináta-tengelyek iránya rendre Észak és Kelet, ami fordított a matematikában használt – megszokott – jelöléssel. Egy *EOV*-ben lévő tetszőleges tereppont egyértelműen meghatározható az 5. ábrán lévő  $(X_0, Y_0)$  pontpár segítségével.

### 2.2.2 Egységes Országos Térképrendszer [8] [9]

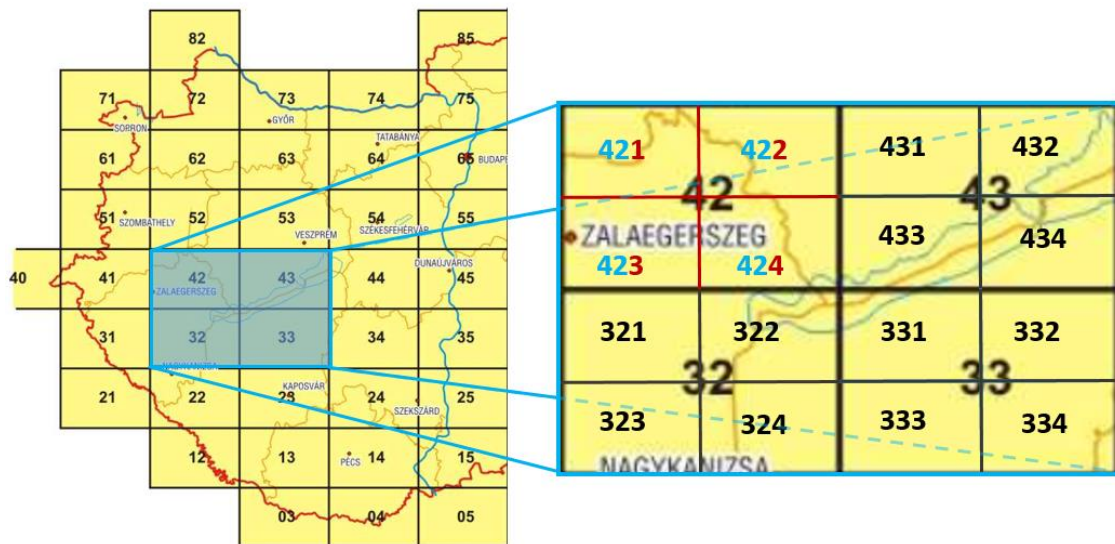
Az Egységes Országos Térképrendszer (*EOTR*) az *EOV* felhasználásával készült,  $1:10^3$  és  $1:10^6$  közti méretarányok megfelelő térképszelvény-sorozatból áll. Az egyes szelvények – méretaránytól függetlenül – 2:3 arányú téglalapok, melyek az *EOV* rendszer felhasználás alapján egyedi azonosítóval rendelkeznek (lásd 6. ábra).



6. ábra: Az EOVS szelvényezése (1:100000-es méretarány)

Az  $M = 1:100\,000$ -es méretarányú szelvények ( $32\text{ km} \times 48\text{ km}$ ) azonosítása az *EOV* origójának figyelembevételével történik. Az ország területének  $X$  és  $Y$  tengelyeknek megfelelő, egyenletes felosztásával sorokat és oszlopokat kapunk, melyeket 0-val kezdődő sorszámokkal látunk el. Az ábrán látható szelvények azonosítóként a sor és oszlop azonosítóik egymás után írásával kapott értéket kapják.

Az ún. százezres<sup>5</sup> szelvényterületek újrafelosztásával 4 darab, nagyobb méretarányú megfelelő ( $1:50\,000$ ) szelvényterületet kapunk ( $16\text{ km} \times 24\text{ km}$ ), melyek azonosítója az eredeti (százezres) érték után írt [1-4] számjeggyel, az 7. ábra alapján bővül. Az ismertetett szelvénytípusokon kívül számos méretarányú szelvény definiálva van az *EOTR*-ben, köztük az  $1:25\,000$  és  $1:10\,000$ .



7. ábra: Az *EOTR*  $1:100\,000$  és  $1:50\,000$  szelvények kapcsolata

## 2.3 Sztereo modellalkotás és felhasználás

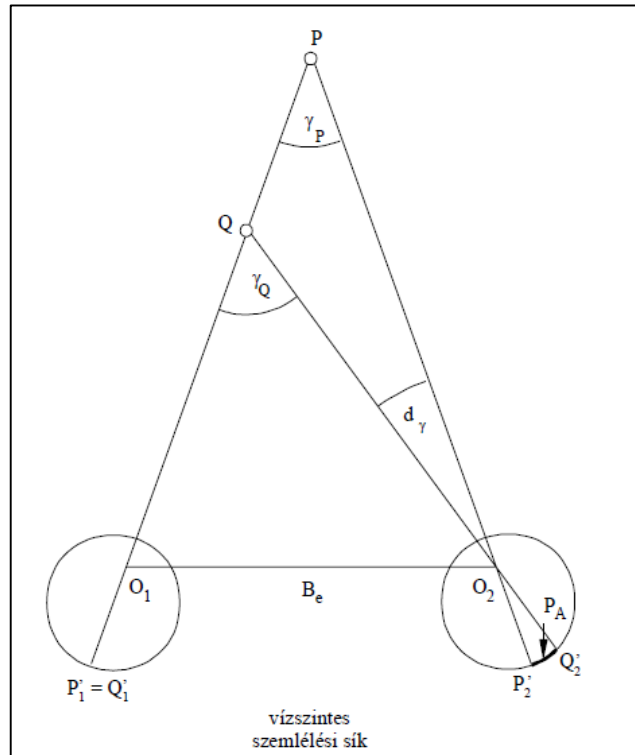
A légifelvételek vizsgálata kapcsán eddig a geometria objektumok leképzési módjait, valamint a leképezés virtuális koordináta-rendszerének egy speciális típusát (*EOV*) ismerttettem. A továbbiakban azt vizsgálom meg, hogy a már elkészített ún.

<sup>5</sup> Százezres szelvény:  $M = 1:100\,000$  méretarányú térképezés során alkalmazott térkép ábrázolási egység.

mérőképek<sup>6</sup> felhasználásával milyen módon lehet 3D-ben megjeleníthető – magassági paraméterekkel is rendelkező – un *sztereo képeket* előállítani.

### 2.3.1 A térbeli látás modellezése [1], [2]

Az emberi térlátás a bal és jobb szem retináján külön-külön leképzett képeknek az agy általi együttes értelmezéséből alakul ki (lásd 8. ábra). A két szem virtuális összekötésével kapjuk az ún. *szemlélési síkot* ( $B_e$ ), amit a két szemgolyó távolsága, valamint szemlélt tárgy helyzete határoz meg. A vizsgált  $P$  pont és a hozzá közel helyezkedő segédpont ( $Q$ ) képe külön-külön jelenik meg jobb és bal szem retechártyáján, létrehozva a  $P$  pont parallaxisait<sup>7</sup> ( $P_A$ ). A 8. ábrán egy speciális helyzet látható, amikor a bal szem esetében a  $P$  és  $Q$  pontok egy egyenesbe esnek.



**8. ábra: A természetes térlátás szemléltetése**

(forrás: K. Kraus: *Fotogrammetria*, pp. 170, 4.3-1. ábra)

A fenti elrendezés során keletkezett  $P_A$  parallaxist *vízszintes parallaxisnak* nevezzük. Ha a két szemgolyó egyazon tárgyról külön-külön vízszintes parallaxist képez,

<sup>6</sup> Mérőkép: mérőkamerával készített fényképfelvétel, amely biztosítja a vetítési centrum és a kép egymáshoz viszonyított helyzetének egyértelmű visszaállíthatóságát ([2/1.9] alapján).

<sup>7</sup> Parallaxis: A vizsgált objektumok egymáshoz viszonyított, különböző kiindulópontból vizsgált helyzetének változása.



kialakul a térlátás, melyet más szóval *szteroszkópiának* nevezünk. Fotogrammetriai eszközök és módszerek segítségével rekonstruálható a fenti térlátási folyamat, aminek eredményeképpen két, különböző nézőpontból – egyazon vizsgálati területről – készített felvételtől létrehozható a terület virtuális térbe történő leképezése, melyre 3D-s képként is tekinthetünk.

### 2.3.2 Légi és digitális fotogrammetria [1], [2]

A *térfotogrammetria* a fotogrammetria azon területe, amely két különböző felvételi pontból készített mérőképből kiindulva előállítja azt a virtuális teret, melyben 3D mérések végrehajtása lehetséges, előállítható a két kép közös képterülete által rögzített terep-részlet *domborzatmodellje* is. Mára a fényképezés jelentős része digitális formában történik, a különböző vetítési eljárások pedig algoritmusok formájában jelennek meg, melyeket automatizáltan, számítógépek hajtanak végre (*digitális fotogrammetria*).

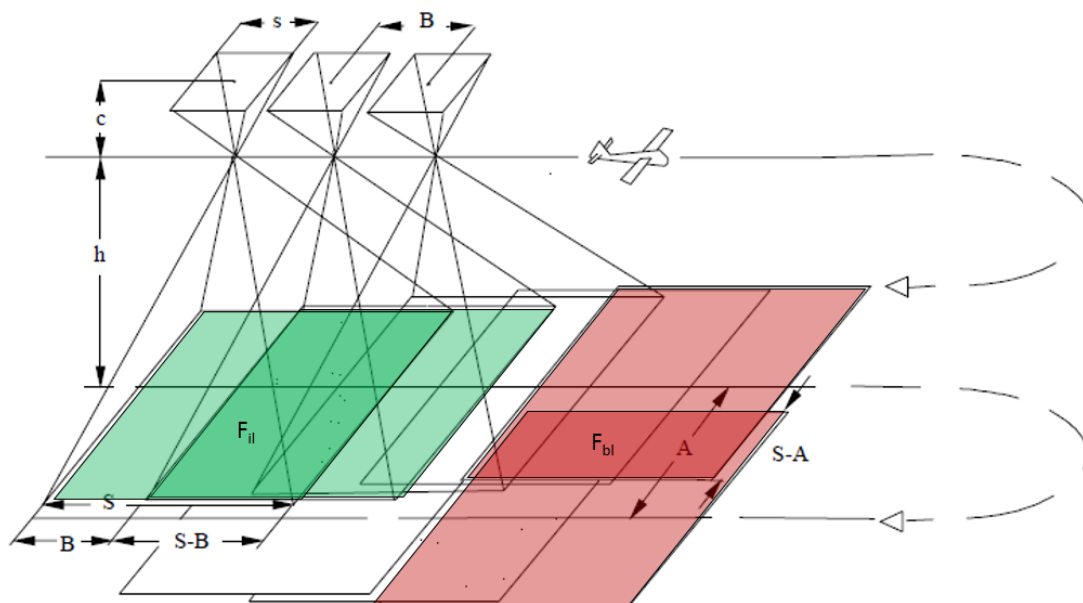
### 2.3.3 Légifényképező repülés tervezése [1], [2], [10]

Az ún. sztereó modellek előállításához olyan légifelvételekre (mérőképekre) van szükség, melyek a vizsgált terep minden pontját minimum két különböző felvételi pontból rögzítik. A felvételek készítése során a már ismertetett perspektív torzulás kialakulásának minimalizálásán kívül számos kritériumot kell szem előtt tartani:

- a vizsgált tereptárgy két képen lévő méretbeli különbsége nem lehet nagyobb 14 %-nál,
- a vizsgált képrész  $d_\gamma$  értéke nem lépheti túl az  $1,17^\circ$ -ot<sup>8</sup>,
- a vizsgált tereptárgyak színbeli különbsége nem lehet jelentős ([1]: *Schwidersky/Ackermann (1976) alapján*).

---

<sup>8</sup> Amennyiben a 8. ábrán látható  $d_\gamma$  szögműködés nagysága elér, vagy meghalad egy bizonyos értéket (1.3 gon, ami kb.  $1,17^\circ$ ), a sztereó modell két képre esik szét [1], [2].



9. ábra: A repülési terv geometriai elrendezése sík terület esetén

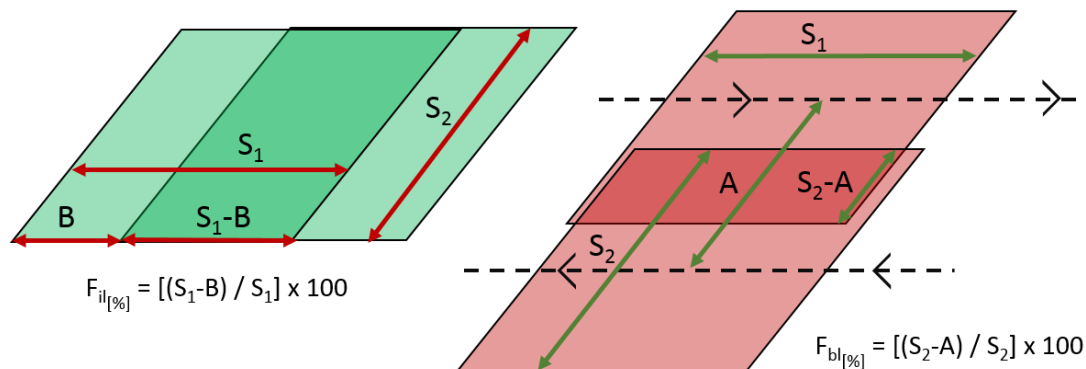
(K. Kraus: *Fotogrammetria*, pp. 117/3.8-1. ábra alapján)

A 9. ábrán látható légifelvétel tervezési fázisában számos paraméter kerül beállításra, meghatározásra. Ide tartozik például a repülési magasság ( $h$ ), a mérőkamera kameraállandója ( $c$ ), a kép felbontása, domborzati viszonyok figyelembevétele (*meglévő domborzatmodell alapján*). A paraméterek ismeretében *repülési tervet* hoznak létre, ami a szükséges paramétereken kívül tartalmazza a készítendő mérőképek számát, felvételének pontos helyét, valamint a képek tervezett síkbeli kiterjedtségét, azaz az egyes képek által leképzett tereprészletek geometriáját. Ha egymás után, egy elméleti tengely mentén haladva készítik a felvételeket, akkor a felvételi helyek sorozatából kapjuk az ún. *repülési sorokat*. A repülési sorok véges sorozatából, az azokra vonatkozó metaadatokból áll elő vizsgált terület repülési terve.

A 9. ábrának megfelelően az egyes mérőképek között biztosítani kell az elvárt átfedési értékeket. A repülési *sorokon belül* a mérőképek között alapértelmezett esetben, 60 %-os átfedési értékkel dolgoznak [10]. A nyári szakmai gyakorlatom során szerzett ismereteim alapján ennek a szakterületi indoklása a következő: Egy nagy területet optimálisan lefedő sztereó modellek kialakításához legalább 50 %-os átfedési érték szükséges. A plusz 10 %-nyi átfedésre azért van szükség, mert az egyes sztereó modelleket is kapcsolni szükséges egymáshoz a modellek között mérendő ún. kapcsolópontok segítségével, melyek a szomszédos két modell közös modellterületén, azaz a két modellt alkotó három mérőkép közös képterületén mért azonos képpontok. A sztereó modelleket nem csak a repülési sorokon belül, hanem azok között is össze kell

kapcsolni, ehhez szükséges a *repülési sorok között* lévő – általános esetben – 30 %-s átfedési érték biztosítása. Néhány speciális feladat optimális megoldásához szükséges lehet a soron belüli 80%-os, illetve a sorok közötti 60%-os átfedés biztosítása is.

Az átfedés százalékban kifejezett értékének meghatározását a [1], [2] és [10] szakirodalom egyaránt a vetített kép megfelelő szakaszainak arányával, a 10. ábrán szemléltetett módon számolja.



**10. ábra: A repülési soron belüli (balra) és sorok közötti (jobbra) légifelvétel átfedésének számítása ([2] pp. 117-118. alapján)**

A megfelelő soron belüli és sorok közötti mérőképek közti átfedés számításának előfeltétele, hogy a soron belüli képek magassága ( $S_2$ ), illetve a sorok közötti képek szélessége ( $S_1$ ) a vizsgálat során páronként egyezzen meg. Ennek pontos biztosítása ugyan nem lehetséges, ugyanis minimális magasságkülönbség esetén is változik a leképzett terület nagysága, de az eltérés minimalizálható. Hasonló problémával szembesülünk, amikor a domborzat eltérő magassági értékei következtében megváltozik a készített kép geometriája. Minimális magasságkülönbségből származó torzulás gyakorlati szempontból vagy elhanyagolható, vagy szoftveresen javítható; a domborzati viszonyok hatásainak korrigálása pedig már meglévő domborzatmodell magassági adatainak felhasználásával lehetséges.

### 2.3.4 Sztereo felvételek feldolgozása [1]

A felvételek sztereó szemléléséhez speciális számítógépek szükségesek, melyek legalapvetőbb egyedi tartozéka a sztereó megjelenítő rendszer. A sztereóban történő megjelenítés egyik eljárása a *polarizációs technika*, mely során a sztereó adóval rendelkező, vagy azzal összezsátolt megjelenítő monitor a sztereó modell jobb és bal képét vagy folyamatosan, vagy felváltva jeleníti meg; a két kép jobb és bal szem számára

történő fizikai elkülönítése egy speciális polarizált sztereo szemüveggel kerül megoldásra, amely lehet aktív vagy passzív eszköz.

Másik fontos elem a sztereo képek kezelhetőségét biztosító *szoftver* megléte, mely segítségével a vizsgált terület meglévő domborzatmodellje összevethető, együttesen kezelhető a sztereómodellekkel. Így a meglévő domborzatmodellek például 3D szintvonalas megjelenítéssel térben kiértékelhetőek. Tehát 3D-ben térképezhetőek a terep természetes és mesterséges elemei (pl. épületek, közúthálózat, növényzet, vízfelületek, stb.). Fontos követelmény a fotogrammetriai szoftverekkel szemben, hogy képesek legyenek kihasználni az őket futtató *számítógép fizikai paramétereit* (pl. memória, CPU, HDD, grafikus kártya), hiszen az alkalmazott felvételek méretükben, így feldolgozásuk számításiigényében is jelentősen meghaladhatják a hétköznapi életben használt fényképekét.

## 3. Átfedés vizsgálati algoritmus tervezése

### 3.1 A modellezési feladat részletezése

A 2. *Fotogrammetriai áttekintés* fejezet keretein belül definiálásra kerültek az ún. repülési sorok, az általuk tartalmazott légifelvétel és a sztereó modellezés, egyes feltételei. Az általam készített algoritmus elsődleges feladata a repülési tömbök légifelvételeinek metaadatai alapján tetszőleges két kép *átfedésének* több szempontból történő *vizsgálata*. Ide tartozik az átfedés mértékének a *kiszámítása*, egy adott értékkel történő *összehasonlítása*, valamint az összehasonlítás eredményeképpen a felvételek *osztályozása*. A konkrét megvalósítás előtt tekintsük át a vizsgált légifelvétel sorozatok metaadatainak tulajdonságait!

A vizsgált repülési tömbök adatai többek között egy-egy kép véges számú (az általam vizsgált esetekben 8 ill. 16), EOV-ben értelmezett 2D-s koordinátát tartalmaz, amelyeket virtuálisan összekötve megkapjuk az adott kép határait leíró *poligont* (lásd *13. ábra*), amely a *2.1.4 A perspektív torzulás okai* alapján csak torzítás mentes esetben ír le téglalapot.

Az eddig látottak alapján elmondható, hogy a sztereó modellezés egyik feltételeként, a képpárokra értelmezett átfedés vizsgálatát a repülési tömbök metaadataiból származó *poligonok* átfedés vizsgálatának feleltethetjük meg.

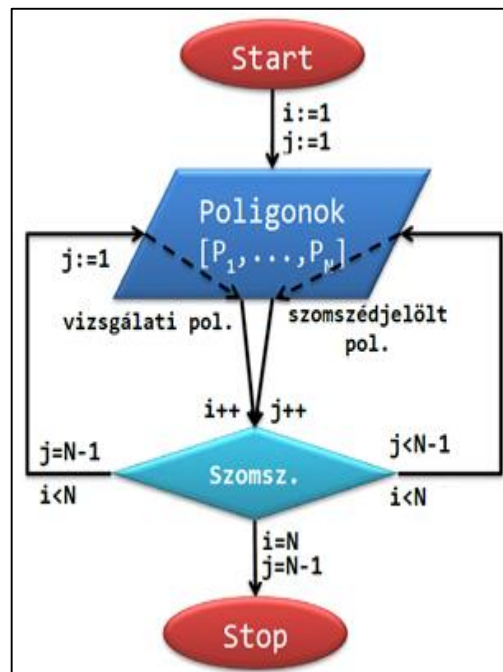
### 3.2 Szomszédosság vizsgálat

A legáltalánosabb esetben az összes lehetséges módon kiválasztott két poligon közti vizsgálat szükséges, azonban első lépésben még a *3.3 Átfedési értékek meghatározása* fejezetben tárgyalt százalékos értékek nem kerülnek meghatározásra. Az átfedési értéket ugyanis csak abban az esetben érdemes számítani, amikor annak értéke 0-tól különböző. Ennek feltétele, hogy a két objektumnak legyen legalább egy közös (egész EOV koordinátában megegyező) pontja. Az ilyen tulajdonságnak megfelelő poligonpárokat *szomszédos poligonoknak* nevezem.

A *2.3.3 Légifényképező repülés tervezése* alfejezet alapján külön vizsgálandó a *poligonok* repülési soron belüli és repülési sorok közti átfedése, emiatt a szomszédosság tényén kívül annak irányát is érdemes meghatározni. Minden egyes poligonra meghatározhatók annak különböző oldali (jobb, bal, felső, alsó) szomszédpoligonjai

(*szomszédjai*); mely folyamat végrehajtásának egyetlen feltétele a poligonok egyediségének<sup>9</sup> megléte.

Az algoritmus első lépésben a repülési tömb összes poligonjának valamennyi szomszédját megkeresi és eltárolja, mely eljárás folyamat során szisztematikusan kerülnek kiválasztásra a poligon-párok. Először egy poligon kerül kiválasztásra (*vizsgálati poligon*), majd a szomszédossági viszony (meglét, irány) ellenőrzésére egy soron következő másik poligon tekintetében kerül sor (*szomszéd jelölt poligon*). A teljes keresési folyamatot az alábbi 11. ábra szemlélteti.



11. ábra: A szomszédosság vizsgálat poligonpárjai kiválasztásának folyamatábrája

Programozás-technikailag a poligonpárok kiválasztása két egymásba ágyazott ciklus segítségével valósítható meg.  $N$  db *poligon* esetében az összes összehasonlítás száma:

$$N * (N - 1) = N^2 - N \rightarrow O(N^2) \quad (1.)$$

A négyzetes komplexitás miatt az eljárás algoritmuselméleti szempontokat nézve ugyan nem tekinthető gyorsnak, vagy optimálisnak (konstans idejűnek), mégis az általános működés ténye nagy előny, hiszen a *poligonok* geometria adatain kívül, a

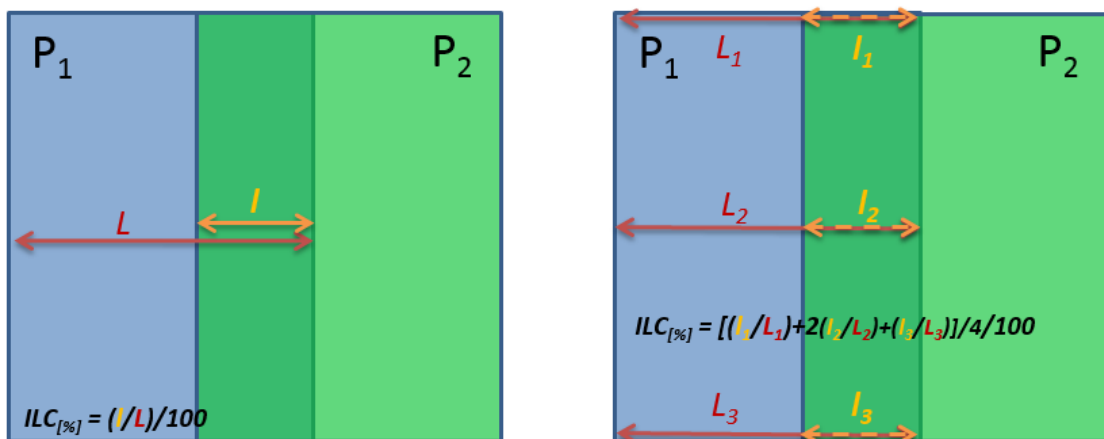
---

<sup>9</sup> A poligonok egyedisége egymástól különböző számértékű azonosító formájában biztosítható. A feldolgozott metaadatok a *geometrián* kívül tetszőleges szöveges, vagy numerikus attribútumot is tartalmazhatnak. Az egyedi azonosító tipikusan egy ilyen attribútum formájában jelenik meg.

szomszédos objektumok meghatározása során nincs szükség többletinformációra. A repülési tömb *poligonjainak* szomszédosság vizsgálata után lehetőség nyílik az átfedési értékek meghatározásának leegyszerűsítésére, hiszen a továbbiakban minden egyes vizsgálati *poligont* – a teljes poligonhalmaz ellenében – elegendő csupán a saját szomszédjai tekintetében vizsgálni<sup>10</sup>.

### 3.3 Átfedési értékek meghatározása

Két poligon átfedésének vizsgálata több paraméter meghatározásával történik. Az *átfedés iránya* a szomszédossági vizsgálat során már rendelkezésünkre áll, az *átfedés nagyságát* pedig ki kell számítani. A szakirodalomban [1], [2] szereplő átfedési értéket számító módszer a légifelvételeket téglalap alakú, egybevágó síkidomokként kezeli, így a területek arányát távolságok arányára tudja leegyszerűsíteni (lásd 9. és 10. ábra). Viszont többször esett szó a légifelvételek készítése során fellépő perspektivikus torzító hatásokról, melyek befolyásolhatják a vizsgált poligonok geometriai tulajdonságait, mely esetben a vizsgált poligonok alakja eltér a téglalapétól és az egybevágóság sem teljesül.



12. ábra: A soron belüli poligonok átfedési értékének számítási módjai

Az átfedést számító rész-algoritmus tervezése során arra törekedtem, hogy a szakirodalom által alkalmazott számítási módszert helyett, azt felhasználva hozzak létre egy olyan eljárást, ami kevésbé érzékeny a perspektivikus torzítás hatásaira. A 12. ábra

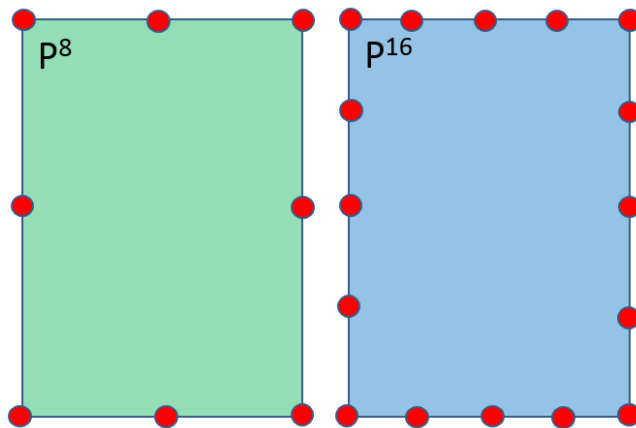
<sup>10</sup> Kellően nagy poligonhalmaz esetén (pl.  $N=100$ ) esetén a szomszédok száma töredéke lesz a teljes poligonhalmaz méretéhez képest. A gyakorlatban nem ritkák az  $N=1000$  vagy  $N=10000$  nagyságrendű poligonból álló repülési tömbök sem.

bal oldalán az eredeti, jobb oldalán az általam tervezett számítási módszer szemléltetése látható *repülési soron belüli* poligon átfedés számításához.

Az új számítási mód során a két poligon ( $P_1, P_2$ ) hat-hat EOV koordinátája kerül felhasználásra úgy, hogy az egyes távolság arányok különböző súlyozási értékkel vannak ellátva. Gyakorlati szempontból az  $ILC_{[\%]}^{11}$  számításánál az eredeti poligonokat a képzeletbeli függőleges magasság felénél vízszintesen elmetsszük ( $L_2, l_2$ ), majd a két területrészt átfedését egymástól függetlenül számítjuk, amiknek számtani középértéke adja az eredeti két poligon átfedési értékét.

$$ILC_{[\%]} = \frac{\left[\left(\frac{l_1}{L_1}\right) + 2\left(\frac{l_2}{L_2}\right) + \left(\frac{l_3}{L_3}\right)\right]}{4} \quad (2.)$$

A *repülési sorok között* vett poligon átfedés számítása a soron belüli esethez hasonlóan, a poligonok „magassági” paramétereivel történik. A számítási elvégzésének feltétele, hogy a poligonok geometriája minimum 8 darab EOV koordinátát tartalmazzon, a 13. ábrán látható elrendezésben.



13. ábra: Egy 8 és egy 16 pontból álló poligon geometriai elrendezése

### 3.4 Poligon osztályozás

A vizsgálati poligonok szomszédjainak meghatározását és a velük vett átfedési értékek kiszámítását követően lehetőség nyílik az objektumok – adott szempontok szerinti – kategorizálására, osztályozására. A 2.3.3 *Légifényképező repülés tervezése* alfejezet során ismertetésre került a két gyakorlatban alkalmazott átfedési határérték: a

---

<sup>11</sup>  $ILC_{[\%]}$ : In Line Coverage (angol) – a repülési soron belüli poligon átfedés értéke százalékban kifejezve.



soron belüli poligon átfedés mértéke (60 %), sorok közötti poligon átfedés mértéke (30 %) [10]. Ez a két érték alsó korlátot alkot a különböző típusú ellenőrzés átfedési értékeire. Ezen kívül létezik felső korlát is, ami feletti érték esetén a sztereó modell nem hozható létre. Ennek értéke a szakmai gyakorlaton szerzett ismereteim alapján 90 – 95 %. A szigorúan a két érték közötti átfedési értéket tekinthetjük – sztereó modellalkotás szempontjából – megfelelőnek. Ez alapján az algoritmus elemző része során a felső és alsó korlát közé eső átfedési értékkel rendelkező poligonok kerülnek a *Lim*, azaz a „limit értékek” közti kategóriába.

Kérdésként merülhet fel, hogy mennyire szükséges szigorúan venni ezeket a határokat, létezik-e eltérés, ami ugyan a határokon kívül található, de ennek ellenére – gyakorlati szempontból – elfogadható. Ennek a problémának a megoldására külön osztály került definiálásra: az ún. tolerancia osztály (*Tol*). Azon *Lim* kategóriába nem tartozó poligonok kerülnek ide, amelyek maximum egy ún. *tolerance* paraméterrel vannak az *alsó korlátot* képző határérték alatt. Fontos megjegyezni, hogy a *felső korlát* esetében ehhez hasonló osztály nem került definiálásra, ugyanis a repülési terveket az alsó korlát teljesítésére optimalizálják, így a gyakorlatban kezelendő kisebb eltérések speciálisan ezen a területen keletkeznek.

A vizsgálati terület határán lévő poligonok adott oldalról nézve nem rendelkeznek szomszédal, ezen objektumok alkotják *Miss* osztályt jelezve, hogy esetükben nem elvárás az adott oldal irányából történő megfelelő átfedés megléte. A fennmaradó poligonok lesznek a hibásak (*Err* osztály).

Az általam definiált négy osztály (*Lim*, *Tol*, *Miss*, *Err*) egymással diszjunkt halmazokat alkot, ezért minden egyes poligont a lehetséges négy irány tekintetében külön-külön kell vizsgálni. Tehát az algoritmus nem közvetlenül a poligonokat, hanem azok oldalait vizsgálja a megfelelő átfedés ellenőrzése céljából. Ennek eredményeként egy-egy, az algoritmus által hibásnak tekintett objektum hibaforrása is könnyen realizálható.

### **3.5 Határterület ellenőrzés**

Az eddigiek alapján elmondhatjuk, hogy a vizsgált terep belső (határ menti) területeit leíró poligonok ellenőrzése biztosított. A kérdés most, hogy a határterületen lévő objektumok is biztosítják-e a megfelelő átfedést, valamint, hogy sztereó modell létrehozható-e a terep egészére.

Az általunk vizsgált terület határát a poligonokhoz hasonló, megfelelő számú, EOVS koordinátákkal leírt zárt tört vonallal lehet leírni (*határpolygon*). Ha a határpolygon egy tetszőleges pontja nem szerepel két poligon (itt: *fedési poligon*) soron belül értelmezett, megfelelő (pl. 60 % feletti) átfedési területén, a pont sztereó modellje nem állítható elő, ami hiba. A határpolygon minden egyes pontját ellenőrizni kell, hogy megfelelő tartományban helyezkedik-e el vagy sem.

A szomszédosság vizsgálat, átfedési értékek számítása és poligonok osztályozása után lehetőségünk van megvizsgálni, hogy az – adott oldal szerint vett – *Miss* csoport elemei a *határpolygon* mely pontjait tartalmazzák, valamint adnak-e helyes átfedést megfelelő szomszédjuk segítségével. A *határpolygon*nal szemben megkövetelendő a megfelelő szintű felbontás (megfelelő sűrűségű pontok) megléte, amely biztosítja a határpolygon pontjainak helyes átfedésének egyenértékűségét a vizsgált terület helyes átfedésével<sup>12</sup>. A vizsgálat során a határpolygon pontjai a következő csoportokba soroltam:

- (H1.) Megfelelő átfedéssel rendelkező határpolygon pont
- (H2.) Hibásan fedett határpolygon pont
- (H3.) Nem lefedett határpolygon pont

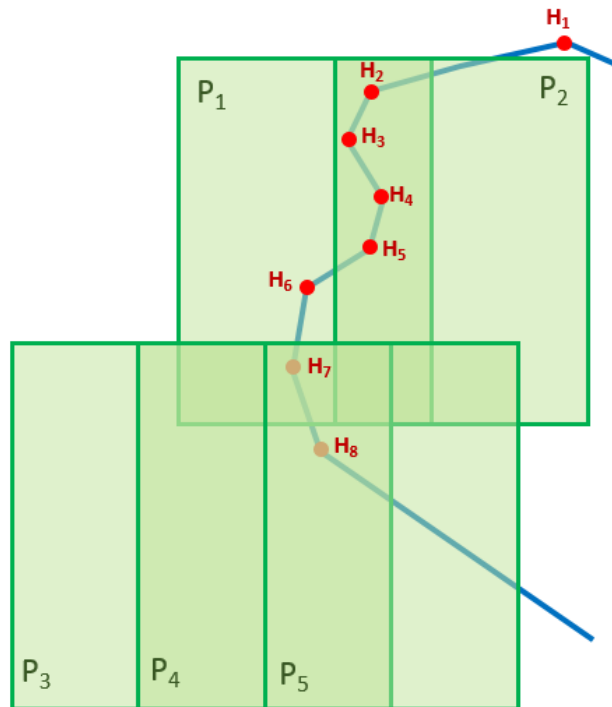
A lefedést biztosító, *Miss* osztályba tartozó poligonok is tovább kategorizálhatók:

- (P1.) Megfelelő határ-menti lefedést biztosító poligon
- (P2.) Hibás határ-menti lefedést biztosító poligon
- (P3.) Határ-menti lefedést nem biztosító poligon I. (felesleges)
- (P4.) Határ-menti lefedést nem biztosító poligon II. (hibásan van *Miss*-ben)

Az egyes osztályok funkcióit a 14. ábra segítségével mutatom be.

---

<sup>12</sup> A határterület téglalapokkal közelített objektumokkal történő lefedése esetén ne legyen olyan – területen belüli – pont, amely átfedetlenül maradhat úgy, hogy közben a határpolygon pontjai kivétel nélkül helyes átfedésben vannak.



**14. ábra: A határpolygon pontjai átfedés vizsgálatának szemléltetése**

Az ábrán látható határpolygon pontjai közül a  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $H_4$ ,  $H_5$ ,  $H_7$  és  $H_8$  megfelelő, mivel soron belüli átfedési területen vannak, ők alkotják a ( $H1$ .) csoportot. A  $H_6$  pont ugyan a  $P_1$ -es polygon területén belül található, de átfedési területen nincs, ezért a ( $H2$ .) osztályba kerül. A  $H_1$  koordináta bármely polygon területén kívül található, ezért a ( $H3$ .) kategóriába tesszük.

Az imént bemutatott kategorizálás abban segít, hogy hiba detektálásán kívül a kijavítás módját is automatikusan lehessen meghatározni. A 14. ábrán látható elrendezés alapján a  $P_4$  és  $P_5$  polygonok lesznek azok, melyek megfelelő funkcionalitással bírnak: ( $P1$ .) osztály. A  $P_1$  kerül a ( $P2$ .) csoportba, mert ugyan tartalmaz határpolygon pontot, de nem átfedési területen.

A  $P_2$  és  $P_3$  polygonok egyike sem fed le határpolygon pontot, a köztük lévő különbség az, hogy a  $P_3$  a határterületen kívül helyezkedik el, így gyakorlatilag felesleges a szerteró modellezés szempontjából ( $P3$ . osztály); a  $P_2$  pedig a határterületen belül található ( $P4$ . osztály), így utólagos felvételre lesz szükség a teljes terület megfelelő átfedés biztosításához.

A kategóriák algoritmikus feltöltése a következők szerint történik. A határpolygon pontokat tartalmazó fedési polygonok esetében az algoritmus a megfelelő koordináták felhasználásával a soron belüli és sorok közötti ellenőrzést is könnyedén végrehajtja, így el tudja dönteni, mely fedési polygonok tartoznak a  $P1$ . és  $P2$ . kategóriákba. A probléma

a *P3.* és *P4.*-be tartozó objektumok szétválasztásánál adódik, mivel a két csoport elemei közti különbség nem vizsgálható a lefedett határpolygonok – saját területen belüli–elhelyezkedésével. A szétválasztás feltétele, hogy meg tudjuk állapítani, melyik objektum van – teljes terjedelmével – a vizsgált határon belül és melyik kívül.

Ennek a problémának a megoldása kizárólag a poligonok geometriai adatai (EOV koordináták) ismeretében nem triviális feladat. Mivel kizárólag olyan objektumok vizsgálatáról van szó, melyek nem tartalmazhatnak határpolygon pontot, elegendő a vizsgált poligon egy tetszőleges belső pontjáról megállapítani, hogy a határpolygon által körbezárt területen kívül vagy belül helyezkedik el. A feladat nehézségét az adja, hogy a határpolygon egy szabálytalan alakzatot alkot, ami nem becsülhető semmilyen – területi bennfoglalást elősegítő – alakzattal (pl. kör, háromszög, négyszög). Első megközelítésben megfelelőnek tűnhet a határpolygon területének háromszögekre bontása, több szár vagy ezer pontból álló objektumhalmaz esetén viszont ez a megoldás nem lesz hatékony. Gyorsabb, kevesebb számításigényű módszert kell keresni!

A feladat megoldásának ötlete a mobil hálózatokon belüli, Ad-hoc – azaz infrastruktúra nélküli vezeték nélküli hálózati szerveződés – speciális útvonalválasztási (*routing*) algoritmusából ered. Az AODV<sup>13</sup> útvonalválasztási algoritmus egy forrás elem kezdeményezésére deríti fel a hálózatban az előre meghatározott célállomás és a forrás között fennálló útvonal alternatívákat. A felderítés során az ún. *Route Request (RR)* üzenet kerül elárasztásra, a forrás szomszédos csomópontjai megkapják az üzenetet benne a cél azonosítójával, majd továbbítják a saját szomszédjaik felé. Ismeretes a *Reverse Path* technika, mellyel biztosítható, hogy küldési irányból csomópont ne kaphassa vissza a *RR* üzenetet. Szintén a küldött csomagok számának csökkentése érdekében az egynél többször beérkezett *RR* üzenetek egyáltalán nem kerülnek továbbításra [12], [13], [14], [15], [16].

---

<sup>13</sup> AODV: Ad-hoc On Demand Distance Vector (angol) – Távolságvektor alapú infrastruktúra nélküli reaktív útvonalválasztó protokoll [12], [13], [14], [15], [16].

Az AODV eljárást felhasználva a határon belüli poligonok felderítésének algoritmususa a következő módon működik:

1. lépés: *kiválasztunk egy tetszőleges, határon belüli poligont ( $P_0$ ):*

→ 2. lépés (2.1. lépés)

2. lépés:

2.1. lépés: *ellenőrizzük  $P_j$  poligon szomszédjai tartalmaznak-e határpolygon pontot: → 2.2. lépés*

2.2. lépés: *a határpolygon pontot nem tartalmazó, nem ellenőrzött szomszédokat feljegyezzük:*

→ 2.3. lépés

2.3. lépés:  *$P_j$  poligont az ellenőrzött pol. listájába tesszük*

→ 3. lépés (3.1. lépés)

3. lépés:

3.1. lépés: *ha a feljegyzett pol. listája üres: STOP, különben:*

→ 3.2. lépés

3.2. lépés: *a feljegyzett pontok közül egyet választunk ( $P_i$ ):*

→ 3.3. lépés

3.3. lépés: *a feljegyzésből töröljük  $P_i$ -t:*

→ 3.4. lépés

3.4. lépés: *végrehajtjuk  $P_i$ -n a 2. lépést:*

→ 2. lépés

Az algoritmus a szomszédossági viszonyokon keresztül csoportosítja a poligonokat. A futtatás egy adott pillanatában az *ellenőrzött pol. listájában* azon objektumok vannak, amelyek a határon belül helyezkednek el, hiszen a határpolygon tartalmazó poligonok eleve kizárásra kerültek a vizsgálatból. A *feljegyzett pol. listájában* pedig a még szomszédjaikat fel nem jegyzett, határon belüli objektumok foglalnak helyet. A *feljegyzett* listába addig kerül új elem, amíg a vizsgált belső szomszédok között van *nem ellenőrzött*. Új, belső szomszéd hiányában a *feljegyzett* lista lépésről lépésre csökken, az algoritmus akkor áll le, amikor már nincs feljegyzendő poligon.

Az AODV eljárását használva az egyszer már megvizsgált objektumok még akkor sem kerülnek újbóli feljegyzésre, ha már ellenőrizve voltak. A szomszédosság alapú elárasztás esetünkben egy ún. korlátozott elárasztás, ami a határpolygon pontjait tartalmazó poligonokon kívül nem terjedhet át a határon túli poligonokra sem. Az

algoritmus futása után a *feljegyzett* lista üres, az *ellenőrzött* lista pedig a határon belül lévő poligonok azonosítóit tartalmazza.

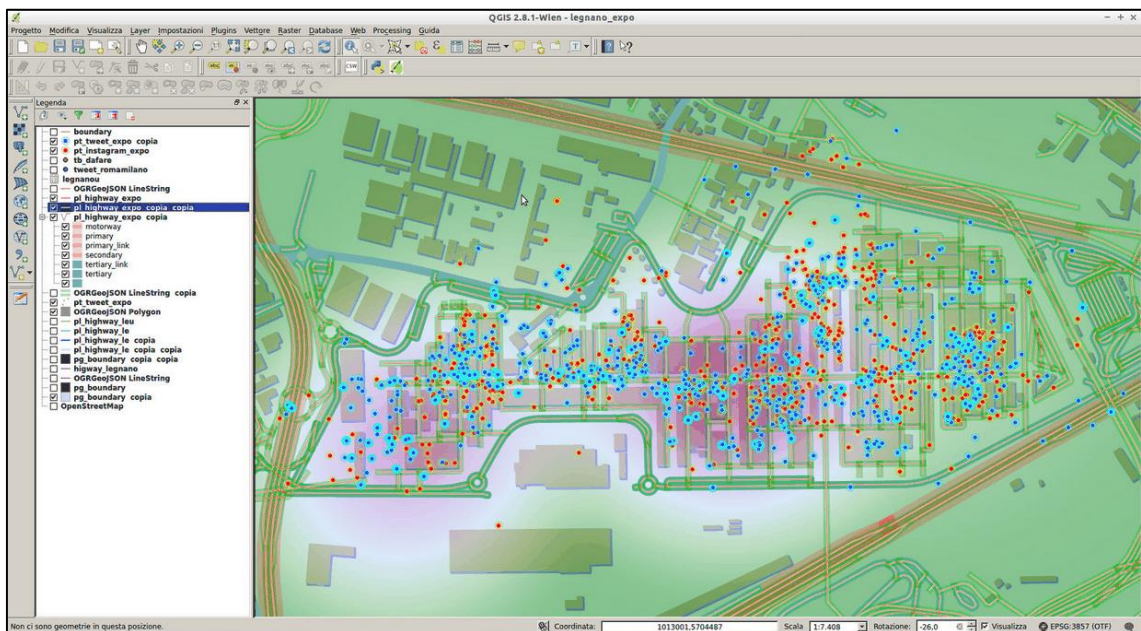
Immáron a határpoligon vizsgálatánál említett  $P_3$  és  $P_4$  poligon kategóriáknak megfelelő szétválasztás megoldható. A határpoligon pontot nem tartalmazó *Miss* poligonok közül, melyek az elárasztási algoritmus eredményeképpen az *ellenőrzött* listában is megtalálhatóak, kerülnek a  $P_3$  osztályba. Az ehhez hasonló, de az *ellenőrzött* listában nem szereplő poligonok alkotják a  $P_4$ -es osztályt.

## 4. Az algoritmus GIS<sup>14</sup>-be történő integrálása, tesztelése

A saját algoritmusom megfelelő működésének és hatékonyságának vizsgálata céljából, azt egy meglévő térinformációs rendszerbe integráltam. Az így készült alkalmazás bemutatását, valamint tesztadatok kiértékelését mutatom be ezen fejezetben belül.

### 4.1 QGIS integráció

A QGIS (Quantum GIS) egy Windows, Mac OS X, Linux, BSD vagy Android operációs rendszerre fejlesztett, ún. freeware (ingyenes felhasználású) alkalmazás, melynek grafikus megjelenítésének segítségével számos térinformatikai elemzést látványos formában lehet végrehajtani. Az alkalmazás részletes, funkcionális vizsgálata nem képezi a TDK dolgozat tárgyát, így csak a saját feladatom szempontjából fontosnak tartott elemeket ismertetem.



15. ábra: A QGIS program rétegekből álló megjelenítési rendszere

(forrás: <https://www.flickr.com/photos/city-planner/17743037244/in/pool-2327386@N22>)

Ide tartozik a program grafikus, megjelenítési rendszere, amit ún. réteges felépítés jellemez (lásd 15. ábra). A megjelenítő eszköz egyszerre több típusú adathalmaz megjelenítésére alkalmas, melyek egymástól függetlenül vagy együttesen is kezelhetők.

<sup>14</sup> GIS: Geographic Information System (angol) – Térinformációs (térinformatikai) rendszer

Minden beimportált adathalmaz külön réteget képez, amelyek így a megjelenítés során tetszőleges sorrendben kezelhetők. Az alkalmazás a beimportált fájlok – adott koordinátarendszerben történő – megjelenítésén kívül, adatbázis funkciókkal is rendelkezik, ami által hatékonyabban kezelhetők a vizsgált terület egyes pontjai, alakzatai, objektumai. A grafikus felület a 15. ábrán látható módon több részre van osztva, így rugalmasan, akár egyszerre is menedzselhetők az egymástól eltérő grafikai és adatbázis-műveletek.

A QGIS funkcióinak bővítése érdekében, az alkalmazáson belül Python nyelven írt egyszerűbb szkript programok írása és futtatása lehetséges. A FÖMI szakembereinek javaslatára az algoritmusom megvalósítására egy ilyen Python szkriptet készítettem. Az alkalmazás megtervezéséhez, valamint az implementálás folyamata során több, QGIS specifikus szoftverfejlesztési elem került felhasználásra, melyekhez a [17] forrást használtam fel.

## 4.2 Az alkalmazás funkcionális felépítése

Az általam írt szkript alkalmazás egy, a QGIS-be előzetesen beimportált ún. *shape* fájl használó adatforrásnak. A fájl a már részletesen tárgyalt légifelvétel-poligonok EOVB-ban történő megjelenítésén kívül tartalmazza a *geometriai* és *attribútum adatokat*. A *geometriai* adatok programkódból történő elérése biztosítja a szükséges információt a szomszédosság vizsgáló és átfedési értéket számító részalgoritmusok számára. Az *attribútum* adatok a légifelvételt készítőik által meghatározott paramétereket tartalmazzák, többek között a poligonok egyedi azonosítóit. A szoftver három, jól elkülöníthető típusú funkcionális elemet tartalmaz, melyek a következők: *felhasználó felület* kezelése (lásd 4.3 *Felhasználó-színű menedzselés*), *átfedési algoritmus* futtatása, valamint *adatbázis és fájl műveletek* elvégzése.

Az *átfedési algoritmus* a beolvasott geometriai adatok segítségével végrehajtja a poligonok szomszédosság vizsgálatát, a megfelelő poligonpárokra kiszámítja az átfedés mértékét és elvégzi a poligonok osztályozását. Mivel a teljes ország területét leíró – egy fájlban lévő poligonhalmaz nem állt rendelkezésemre, a 3.5-ös fejezetben tárgyalt *határterület ellenőrzés* nincs implementálva, így ez a funkció továbbfejlesztési lehetőségnek számít.

Az *adatbázis és fájl műveletek* közé sorolható az eredeti *shape* fájl geometriai adatainak a feldolgozása, az algoritmus *részeredményeinek* szöveges fájlokba mentése,



valamint a poligon osztályozást követő – az eredeti *shape* állományba történő – attribútum visszacsatolás. Minden egyes elemzési folyamat során összesen 5 darab szöveges fájl kerül létrehozásra, melyek tartalma a következők:

- Geometriai adatok (*attributeGeoData.txt*):
  - a poligonok 2D-s EOVS koordinátái.
- Szomszédossági adatok (*neighboringData.txt*):
  - a poligonok négy oldali szomszédjainak listája.
- Átfedési adatok (*coverageData.txt*):
  - a poligonok szomszédjainak listája, az átfedési értékek tartalmazásával (lásd 16. ábra).
- Poligon osztályozás adatai (*errorLog.txt*):
  - a kategorizált poligonok adatai.
- Hibastatisztika (*errorStat.txt*)
  - az adott elemzés kategorizált poligonjainak százalékos kimutatása.

```
Creation time: 2015-09-02_093655
Coverage Data
Format: SIDE: [#id, #id, ..., #id]

chk_id: 100001
RIGHT: [(2, 60.0), (3, 19.57)]
LEFT: [(0, 0)]
TOP: [(1126, 29.66)]
BOTTOM: [(68, 28.94)]
-----
chk_id: 100002
RIGHT: [(3, 59.81), (4, 19.37)]
LEFT: [(1, 59.64)]
TOP: [(1127, 29.84)]
BOTTOM: [(69, 29.3)]
-----
chk_id: 100003
RIGHT: [(4, 59.55), (5, 18.98)]
LEFT: [(1, 19.46), (2, 59.82)]
TOP: [(1128, 29.67)]
BOTTOM: [(70, 29.42)]
-----
```

16. ábra: Egy átfedési adatokat tartalmazó szöveges állomány tartalma (részlet)

Az átfedési adatokat tartalmazó állomány tetszőleges poligon összes szomszédját és a velük lévő – százalékban megadott – átfedési értéket lista szerkezetben tartalmazza (16. ábra). A szöveges fájlok segítségével a szakemberek részletes elemzéseket, statisztikai kiértékelést is végezhetnek a QGIS program használata nélkül.

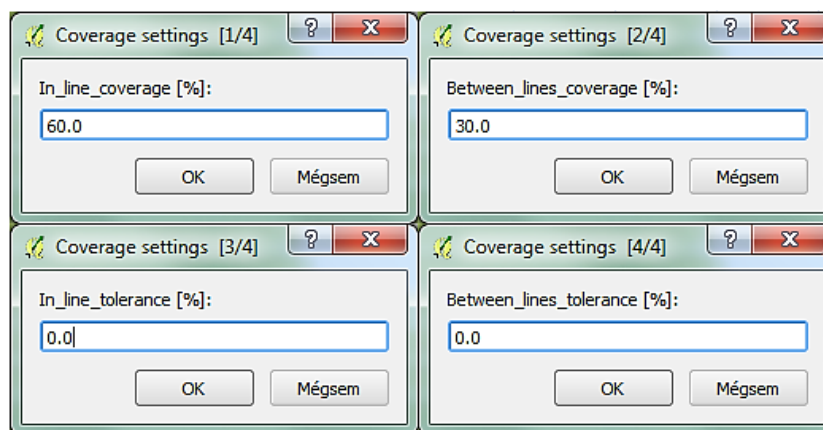
Speciálisan az adatbázis műveletei közé az alkalmazás általi *shape* attribútumok automatikus létrehozása tartozik. Amennyiben a kezdeti állomány nem biztosít egyedi azonosítót a poligonok számára, úgy ezt a Python szkript automatikusan elvégzi (*chk\_id* attribútum). Az átfedési algoritmus futtatását követően négy-négy darab paraméter kerül létrehozásra, melyek a megfelelő oldalról számított maximális fedettségi értéket és a kategorizálás eredményét tartalmazzák (17. ábra).

chk_id	Error_R	Error_L	Error_T	Error_B	Cov_R	Cov_L	Cov_T	Cov_B
100557	OK	OK	OK	OK	60.0	60.02	30.15	30.06
100558	OK	OK	OK	OK	59.99	59.97	30.15	30.01
100559	OK	OK	OK	OK	60.03	59.99	30.16	30.07
100560	OK	OK	OK	OK	60.05	60.03	30.18	30.13
100561	Miss	OK	OK	OK	-	60.03	30.22	30.13
100562	ERROR	Miss	OK	ERROR	58.03	-	29.52	25.18
100563	OK	ERROR	OK	ERROR	59.09	58.39	29.81	24.87
100564	OK	ERROR	OK	ERROR	60.12	58.28	30.64	25.08
100565	OK	OK	OK	ERROR	60.1	59.61	30.72	26.19
100566	OK	OK	OK	ERROR	60.09	59.77	29.41	28.06
100567	OK	OK	ERROR	OK	59.79	59.4	28.77	29.69
100568	OK	OK	ERROR	OK	60.81	59.06	27.48	31.98
100569	OK	OK	ERROR	OK	63.01	60.09	28.46	34.26
100570	OK	OK	OK	OK	63.36	61.57	30.9	34.93
100571	OK	OK	OK	OK	63.36	62.43	32.59	35.5
100572	OK	OK	OK	OK	63.38	62.75	33.43	35.67

17. ábra: A *shape* fájlba írt attribútumok QGIS által megjelenített képe

### 4.3 Felhasználó-szintű menedzselés

Mivel az alkalmazás célja a repülési tervek és megvalósított repülések légifelvétel metaadatainak – térinformatikai és fotogrammetriai szakemberek által irányított – hatékony ellenőrzése, az alkalmazás felhasználói felülete, valamint a hibakezelő rendszere leegyszerűsített megoldást igényelt. A programot futtató szakértők számára a szoftver futási idejének – a grafikus és bementi ellenőrzési rendszer következtében bekövetkező – növekedése jelentős problémát jelenthet. Éppen ezért a program csak minimális grafikus felületet biztosít a különböző bemeneti paraméterek megadására (18. ábra).



18. ábra: Elemzési beállítások paraméterei (részlet)

A 18. ábrán látható bemeneti paraméterek közé tartozik a repülési soron belüli és sorok közötti alsó határ- és toleranciaérték. További paraméter a soron belüli felső határ, valamint az elemzés során létrehozott szöveges fájlok mentési beállításai (mappa neve és a mentés lokális helye).

Az alkalmazás ugyan minden egyes elemzés lefuttatása előtt az ismertett paraméterek megváltoztatásának lehetőségét grafikus úton biztosítja, ám ez a gyakorlatban csak részben tekinthető ideálisnak. Amennyiben egy elemzési sorozatot, egymással megegyező paraméterekkel szeretnénk elvégezni, egy kezdeti (*default*) értékek beállítása sokat gyorsít az elemzések elindításán. Ezt az utóbbi a célt szolgálja a *VerifyInit.json* JSON típusú fájl, ami szöveges formában tartalmazza a felsorolt paraméterek alapértékeit (19. ábra) A JSON állományok strukturált formában, érték-kulcs párban tárolják a feldolgozandó értékeket (*value*) és a rájuk hivatkozó típus-kulcsokat (*type*) [18], [19].

```
1 {
2   "verify_type": "T",
3   "IO_parameters": {
4     "Saving_folder_direction": {
5       "type": "[String - format: C:/Documents/.../xyz/ ]",
6       "value": "C:/"
7     },
8     "Saving_folder_name": {
9       "type": "[String]",
10      "value": "New Folder"
11    }
12  },
```

19. ábra: Az inicializációs JSON fájl tartalma (részlet)

Az elemzések percekben mért időigénye miatt (bővebben lásd 5.2 *Az alkalmazás korlátainak vizsgálata*) célszerű lehet a program futása közben, az egyes funkciók elvégzéséről szöveges tájékoztatást adni az elemzést végző szakemberek számára. Ez a funkció a QGIS-be épített *Python Console* fejlesztő eszköz segítségével, képernyő kiírások formájában valósul meg. Az alkalmazás – a 20. ábrán látható módon – sorfolytonos kiírásokkal informálja az elemzést végző szakembert a sikeres, sikertelen és opcionális részfolyamatainak elvégzéséről.

```

-----FLYING PLAN VERIFY ----- // az alkalmazás indítása
chk_id attribute creation... [0-100%] // egyedi azonos létrehozásának folyamata
RUNNING_INFO: create_chk_ID attribute // + nyugta
RUNNING_INFO: getAttGeoData // geo adatfeldolgozás: + nyugta
RUNNING_INFO: writeAttributeDataToFile // szöveges fájlba mentés (1)
Neighbour finder: Processing... [0-100%] // szomszédok keresése
RUNNING_INFO: findAll_RLTB_neighbours // + nyugta
RUNNING_INFO: writeNeighbouringDataToFile // szöveges fájlba mentés (2)
Calculating coverage... [0-100%] // fedettségi értékek számítása

RUNNING_INFO: writeCoverageDataToFile // szöveges fájlba mentés (3)
RUNNING_INFO: writeErrorLog // szöveges fájlba mentés (4)
RUNNING_INFO: writeErrorStatToFile // szöveges fájlba mentés (5)

// A kategóriákból és a fedettségi értékekből készített attribútumok 4-4 db üzenetfajtája:
Error_[R/L/T/B] attribute creation... [0-100%]
RUNNING_INFO: create_Error_[R/L/T/B] attribute
Cov_[R/L/T/B] attribute creation... [0-100%]
RUNNING_INFO: create_Cov_[R/L/T/B] attribute

-----COMPLETED----- // sikeres futás vége

```

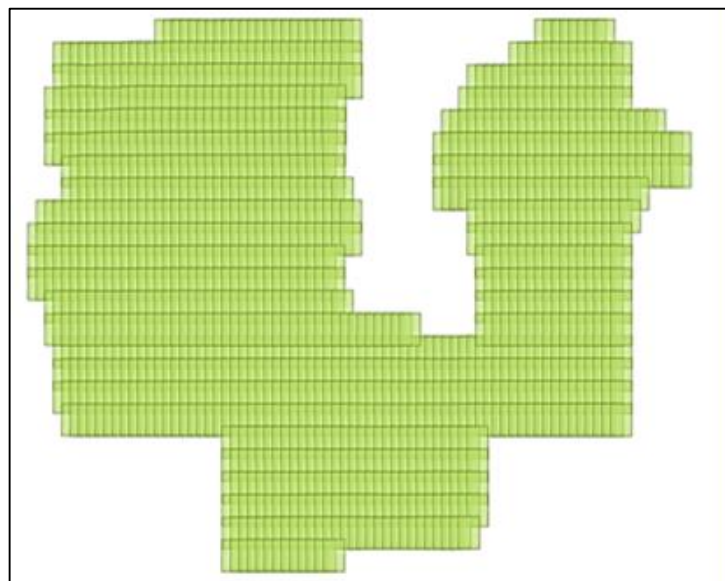
20. ábra: Egy sikeres futtatás során kiírt információs üzenetek

## 4.4 Tesztadatok elemzése, kiértékelése

Dolgozatom ezen szakaszában egymástól eltérő jellegű és funkcionalitású elemzési technikákat vetek fel ötlet szintjén, melyek segítségükre lehetnek a fotogrammetriai szakemberek számára, elemzéseik elvégzése során.

### 4.4.1 QGIS vizuális hibajelzés

A vizuális elemzési mód bemutatása érdekében egy konkrét tesztfájlon végzett elemzés kerül bemutatásra. A kiindulási *shape* fájl egy repülési terv légifelvételeinek alábbi poligonhalmazát tartalmazza (21. ábra).



21. ábra: Egy shape fájl vizuális poligonhálójá

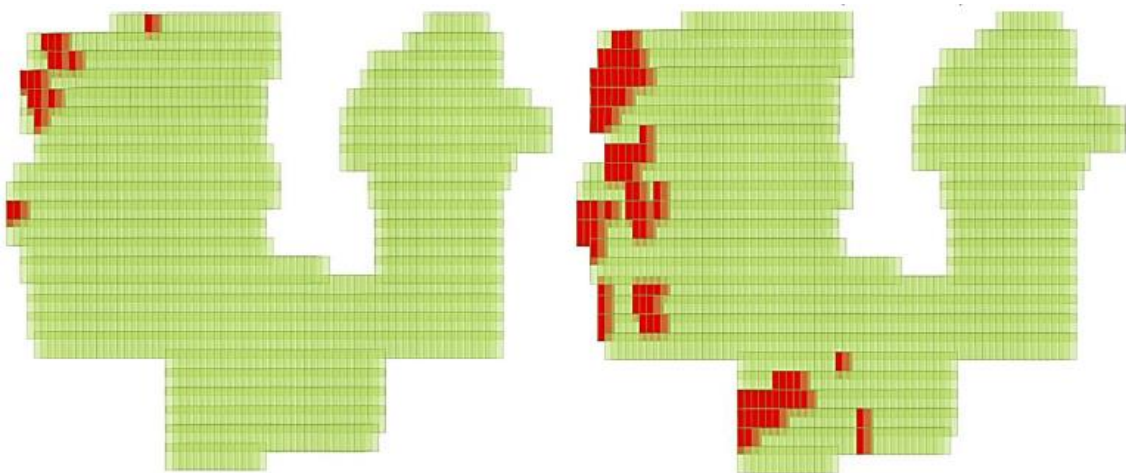
Az elemzési alkalmazás lefuttatását követően – a QGIS program belső szűrő eszközének felhasználásával – lehetőség nyílik a modellünk alapján hibásnak minősülő (lásd 3.4 *Poligon osztályozás*) poligonok eltérő színnel történő megjelenítésére.

A 22. ábrán, a soron belüli (60 %), valamint a sorok közötti átfedés határértékét (30 %) nem teljesítő poligonok vörös színnel kerültek megjelenítésre.



**22. ábra:** A soron belüli és sorok közötti átfedési hiba vizsgálata toleranciaküszöb beállítása nélkül

Természetesen, ha a kezdeti elemzés során 0 %-ra beállított toleranciaküszöböt 1-1 %-ra változtatjuk<sup>15</sup> - akkor az elemzés újrafuttatásával a fentitől eltérő, kevesebb hibás poligonnal rendelkező eredményt kapunk (lásd 23. ábra).



**23. ábra:** A soron belüli és sorok közötti átfedési vizsgálata 1 %-os toleranciaküszöb esetén

A bemutatott két elemzés az elemzések beállítás-érzékeny tulajdonságára világít rá. Egy-egy elemzés határérték és toleranciaküszöb paramétereit pontosan kell beállítani,

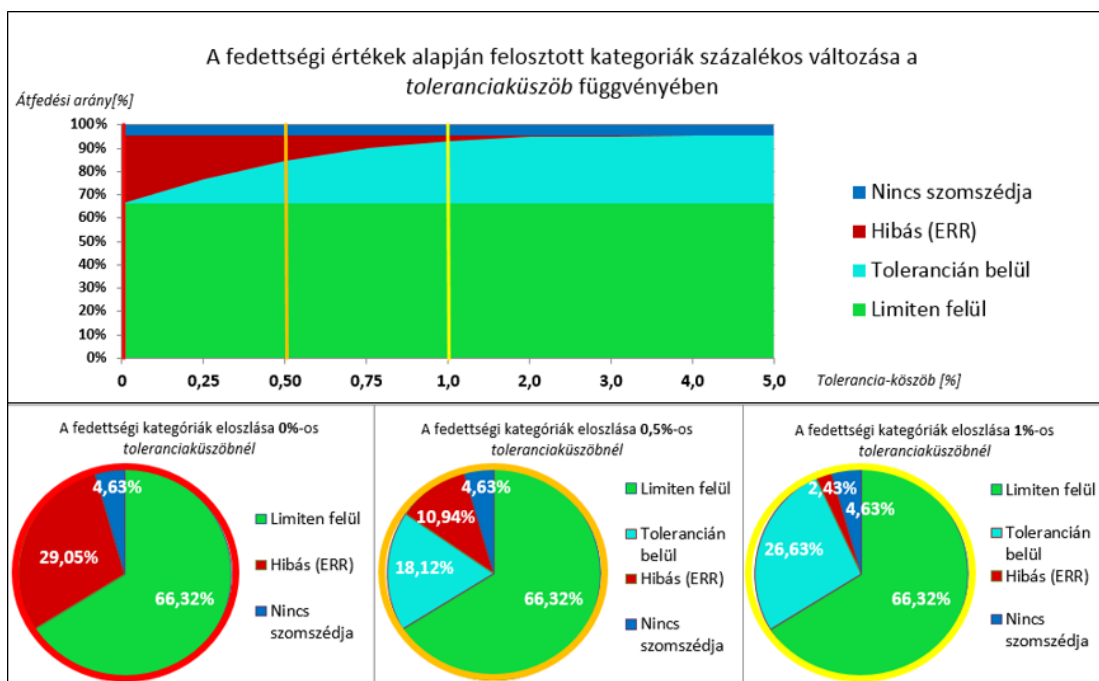
---

<sup>15</sup> Az 1 %-os toleranciaküszöb 60 %-os alsó korlát mellett azt jelenti, hogy az eljárás az 59 %-nál nagyobb átfedési értéket már megfelelőnek tekinti.

mivel a szakemberek számára kizárólag azon objektumok detektálása a cél, melyek olyan légifelvételeket reprezentálnak, melyekből a sztereó modell nem alakíthatók ki. A paraméterek beállítása az elemzést végző szakember feladata, amit – a már ismertetett módszerekkel – a tárgyalt alkalmazás segítségével rugalmasan tud beállítani, változtatni.

#### 4.4.2 Statisztikus kiértékelés

Az egy-egy elemzés során létrejövő *hibastatisztika* szöveges állomány, az egyes poligon kategóriák eloszlását is tartalmazza. Ha egymás után több elemzést is végrehajtunk, az eloszlási értékek összetételének változása alapján megvizsgálható például a *toleranciaküszöb* paraméter hatása (24. ábra).



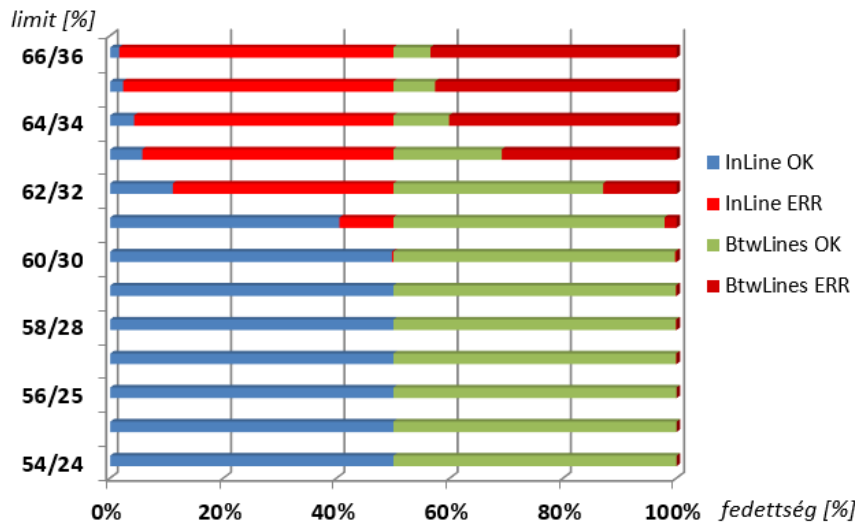
24. ábra: Az átfedési értékek alapján kategorizált poligonok eloszlásának vizsgálata

Az ábra felső részdiagramján a már ismertetett négy poligonosztályozási kategória található, melyek együttesen teszik ki az ún. *átfedési arányossági tényező*<sup>16</sup> 100%-t. A fenti vizualizáció egy tesztfájl 9-szeri algoritmikus kiértékelésének az együttes eredményeképp készült. Cél a *toleranciaküszöb* paraméter 0-ról történő növelése esetén a hibás poligonok számának csökkenés vizsgálata volt. Három kiemelt eset (0-s, 0,5-s és 1,0-s értékek) kördiagram formájában történő leképezése az ábra alsó részén látható. A

<sup>16</sup> Átfedési arányossági tényező: egy származtatott mutató, amely százalékos formában fejezi ki az egyes poligon kategóriák eloszlását.

komplex diagram felhasználható a megfelelő *toleranciaküszöb* érték meghatározásához, valamint egy adott légifelvételzés utólagos kiértékeléséhez is.

Egy másik elemzési mód a soron belüli és sorok közötti határ paraméterek változtatásán alapul. Esetünkben az alapértelmezettnek vett 60 és 30 %-os értékek teljesítése kulcsfontosságú, az ennél nagyobb átfedési értékek megléte viszont nem.



25. ábra: A hibás poligonok arányának változása a határparaméterek változása esetén

A határparaméterek (*limit*) változtatásával az egyes vizsgálati esetek hibaszázaléka is változik. A 25. ábrán látható *fedettség* paraméter jelzi az átfedési vizsgálatok során felmerülő hibaarányokat. A feladat kiválasztani azt a két határértéket, amely számunkra elfogadható<sup>17</sup> arányú hibaesetet generál soron belüli és sorok közötti vizsgálat során külön-külön.

A tesztadatok elemzési eredményeiből készített 25. ábra alapján – kísérleti jelleggel – tegyük fel, hogy a soron belüli 60 %-os és a sorok közötti 31 %-os értéket már elfogadható hibaarányúnak tekintjük; viszont garantálni csak a 60 és 30 %-t szükséges. Ebben az esetben a repülési sorok közti repülési távolság 1%-kal még növelhető is, hiszen a vizsgált adatsor 31%-os eredménye helyett csak 30%-ra van feltétlenül szükség.

A százalékos kifejezés esetünkben (sorok közötti vizsgálati eset) a poligonok függőleges távolságainak nagyságát jelenti (lásd 3.3 *Átfedési értékek meghatározása*). Ha a teljes repülési területet (repülési tömb) vizsgálva az egyes sorok távolságát 1-1 %-kal

<sup>17</sup> Az, hogy pontosan milyen érték lesz elfogadható, azt az elemzést végző fotogrammetriai szakértő választja ki.

úgy tudnánk megnövelni, hogy az összesített növekmény elérje az egy képzési fuggőleges távolságot (100 %-os összesített növelés), az eredetileg tervezett repülési sorok egy sorral csökkenthetők lesznek. Esetünkben ehhez pontosan 101 darab repülési sor megléte szükséges.

Mivel a repülési sorok redukciója üzemanyag és költségcsökkentést is eredményezhet, az ebben rejlő lehetőségeket szeretném a – TDK dolgozat keretein kívül is – a jövőben megvizsgálni.



## 5. Felhasználhatóság

Ebben a fejezetben a készített algoritmus és alkalmazás felhasználhatóságát vizsgálom, ahol az algoritmus és az alkalmazás korlátain kívül röviden kitérek az elkészített eljárás vállalati környezetben történő felhasználására, valamint a lehetséges fejlesztési alternatívák sokszínűségére.

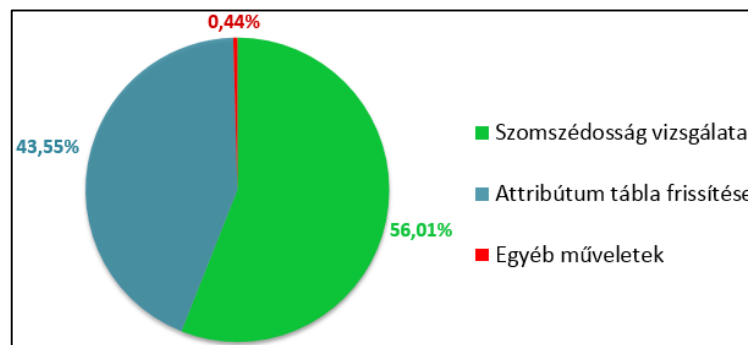
### 5.1 Az algoritmus és az alkalmazás korlátainak vizsgálata

A készített *algoritmus* gyorsaságát döntően az elemzések során vizsgált poligonok száma ( $N$ ) befolyásolja. A 3.2 *Szomszédosság vizsgálat* alfejezet (1.)-es egyenlete alapján a befolyásoltság mértéke négyzetes nagyságrendű. Ezt akkor lehetséges csökkenteni, ha előzetes információval rendelkezünk a poligonok – adott koordinátarendszerben értelmezett – elrendezéséről. Amennyiben az azonos repülési sorban lévő légifelvételek attribútum adatai között egyedi sorazonosító szerepel, akkor a szomszédok keresése leszűkíthető az adott poligon sorazonosítójával megegyező értékű objektumokra. Tíz azonos számú felvételt tartalmazó repülési sor esetén – algoritmuselméleti szempontból – pontosan egy nagyságrenddel csökkenthető az algoritmus által elvégzett összehasonlítások száma, hiszen a kezdeti tíz sor összes poligonja helyett, csupán a megfelelő sorazonosítóval rendelkező poligonokat (egy sor) kell a vizsgálatba bevonni.

Az *alkalmazás* korlátai között elsőnek az azt futtató hardver fizikai paramétereit említem meg. Megfelelő mennyiségű RAM, megfelelő gyorsaságú és párhuzamos működésre képes CPU és grafikus kártya meglete kulcsfontosságú. A pontos értékek meghatározása nagyban függ az elemezni kívánt *shape* állomány méretétől, az általa tartalmazott objektumok számától. Hasonlóan jelentős szerepet játszanak a különböző (pl. QGIS, ArcGIS, stb.) alkalmazások számítási feladatok végrehajtási jellemzői. Ezek közé sorolható a soros (egyprocesszoros) és párhuzamos (többprocesszoros) végrehajtási technika, ami alapvetően befolyásolja az elemzést végző számítógép számítási kapacitásának kihasználtságát. Az általam kidolgozott algoritmus olyan alkalmazási környezetben készült (QGIS), amely a soros végrehajtást támogatja.

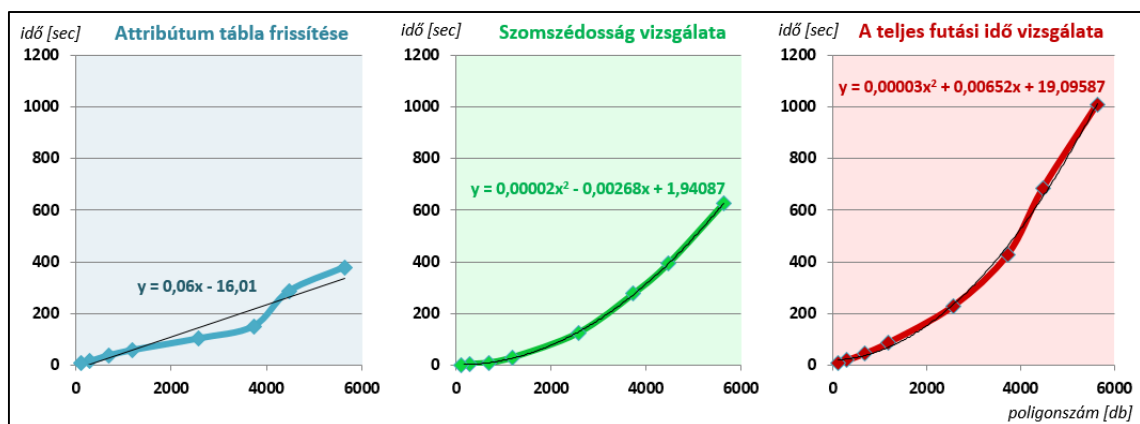
Az alkalmazás futási idejének vizsgálatát egyes elvégzett részfeladatok időigényének mérésével oldottam meg. Az alkalmazás 0 és 6000 közötti poligonszámú, 8 különböző tesztesetben lett lefuttatva. A 26. *ábra* az egyes részfeladatok egymáshoz

viszonyított időigényét mutatja a – poligonszám szerint súlyozott – 8 tesztet összesítéseként.



26. ábra: Az alkalmazás részfeladatainak egymáshoz viszonyított időigénye

Látható, hogy az alkalmazás futási idejének több mint 55 %-t a szomszédosság vizsgálat teszi ki. A *shape*-fájl attribútum táblájába történő új paraméterek felvétele a futási idő közel 45 %-t teszi ki, hiszen a fennmaradó műveletek (szöveges fájlok létrehozása és írása, átfedési értékek számítása, inicializáló JSON állomány beolvasása, geometriai adatok kezelése) számításigénye 0,5 % alatti, ezért elhanyagolható. A továbbiakban a *szomszédosság vizsgálat* és az *attribútum tábla frissítési* folyamatát vizsgálom tovább.



27. ábra: Az alkalmazás futási idejének vizsgálata a poligonok számának függvényében

A 27. ábrán a már említett két, nem elhanyagolható részfolyamat időbeli lefolyása látható, melyek összesített eredményével a *teljes futási idő* jól közelíthető. A alkalmazás függő *attribútum tábla frissítésének* időigénye az elvégzett vizsgálatok alapján lineárisnak mondható; a *szomszédosság vizsgálata* a vártnak megfelelően exponenciális lefolyású. Mivel a két paraméter 44:56 arányban oszlik meg, így mindkét folyamat jellege megjelenik a *teljes futási idő* görbéjén.

A diagramok alapján nem csak elvégzett elemzések időigényét lehet leolvasni (pl. egy 6000 poligonból álló elemzés 16-17 percig tart), hanem a görbék feltüntetett egyenleteinek segítségével előre becsülhető – az előzőekkel megegyező számítógépes környezetben futtatandó – el nem végzett elemzések időigénye. Magyarország teljes területét lefedő, kb. 20 000 poligont tartalmazó *shape* állomány attribútum táblájának frissítése kb. 1200, a szomszédosság vizsgálat elvégzése kb. 8000 másodpercig tartana. A teljes futási idő kiszámítása történhet az előző két érték összeadásával, vagy az együttes diagram egyenletébe történő behelyettesítéssel, amelyek alkalmazása során egy 150-200 perces időintervallumot kapunk eredményül.

## 5.2 Az eljárás vállalati környezetben történő felhasználása

A FÖMI fotogrammetriai szakembereinek két esetben kell ellenőrizniük a vizsgált terület poligonjainak átfedési értékeit. Az első eset a légifelvételést megelőzően, a felvételést készítő alvállalkozó által kiadott *repülési terv* ellenőrzése, engedélyezése. A repülési terv az alkalmazás által felhasználható *shape*- formátumban a készítendő mérőképek elhelyezkedését és geometriai jellemzőit is tartalmazza (poligonok). Mivel a terv egy speciális repülés tervezési szoftver felhasználásával készült, az elemzést csupán a szoftver helyes beállításának ellenőrzése céljából érdemes végrehajtani.

A légifelvételés során elkészített mérőképek metaadatait tartalmazó állomány az ún. *megvalósult repülési állomány*. Ez esetben az alkalmazás segítségével felfedhetők az egyes határértékekhez viszonyított apróbb eltérések, valamint az esetleges kiugró hibák. A cél, hogy a légifelvételés időtartamához mérten rövid idő alatt lehessen azokat a részterületeket detektálni, melyekre a sztereó modellek kialakításának, valamint összekapcsolásuk feltételei nem teljesülnek.

Az általam tervezett algoritmus és fejlesztett alkalmazás egy speciális térinformatikai szoftveren keresztül teremt meg a vállalat szakemberei számára a lehetőséget a poligonok átfedési értékeinek automatikus meghatározására.

Az alkalmazás vállalati környezetben történő felhasználásnak egyik fontos feltétele a program funkcionális bemutatása, valamint egy részletes felhasználói dokumentáció átadása. Munkámat a FÖMI-ben tartott prezentációval zártam, melyet többek között a Fotogrammetriai Osztály osztályvezetője, valamint a Távérzékelési és Kozmikus Geodéziai Igazgatóság igazgatója is megtekintett.

### 5.3 Fejlesztési és alkalmazási lehetőségek

Jelen TDK dolgozat során ismertetett tervezési, fejlesztési és elemzési megoldások több fejlesztési lehetőséget is kínálnak. Az *algoritmus hatékonyságának növelése* az alkalmazás futási idejének csökkentése érdekében fontos. A teljesen általános elven működő szomszédkereső eljárás – a repülési sorok azonosítóinak attribútum formájában történő megléte esetén – nagymértékben egyszerűsíthető, így a futási idő csökkenthető (bővebben lásd 5.1 *Az algoritmus és az alkalmazás korlátainak vizsgálata*).

Az alkalmazás felhasználásának megkönnyítése érdekében a *grafikus felület továbbfejlesztése* mindenképpen a fejlesztési alternatívák közé tartozik. A felugró ablakok helyett egy könnyebben kezelhető, egységes, az egyes beállítási oldalak közti navigációs funkciókat is megvalósító GUI kialakítása felhasználói szempontból előnyös lenne.

A modell segítségével az elemzések rugalmasan, a vizsgálati paraméterek adott határok közötti tetszőleges beállításával hajthatók végre, ezért az általam készített algoritmus más célú (pl. diszjunkció vizsgálat) alkalmazása is megalapozott.

További alkalmazási távlatokat nyithat – különösen robotrepülők, illetve drónok esetén – ha egy adott vizsgálati terület légifelvételése során repülés közben, közel valós idejű lefutással lenne futtatható az alkalmazás. Ehhez a szoftver elemzési mechanizmusának további automatizálására van szükség, ami a készített légifelvételek metaadatainak valós idejű feldolgozásának segítségével megoldható.

## 6. Köszönetnyilvánítás

A TDK dolgozatom keretein belül egy olyan modellezési feladatot szerettem volna bemutatni, melynek elméleti vizsgálatain kívül a gyakorlati jelentőségére, felhasználására is rá tudok világítani. Az általam tervezett algoritmust térinformatikai rendszerbe tudtam integrálni, amit egy ezzel a területtel is foglalkozó szervezet adataival tesztelhettem el. Ezt a nagyszerű lehetőséget köszönöm a *FÖMI vezetőségének*, valamint a *Fotogrammetriai osztály munkatársainak*, akik négy héten át folyamatosan segítettek munkámat.

A dolgozat írása során nagy kihívást jelentett a számomra az ismeretlen tudományterület, a fotogrammetria áttekintése, részterületeinek értelmezése. Külön köszönöm konzulensemnek, *Balla Csillának*, aki a FÖMI fotogrammetriai szakértőjeként tanító célzattal segítette dolgozatom elkészültét.

A TDK dolgozat írása során kapott folyamatos szakmai iránymutatást köszönöm témavezetőmnek, *Dr. Kovács Kálmánnak*, valamint *Dr. Berke Józsefnek*, akik támogatása, véleményezése és személyes motivációja nélkül a dolgozat ilyen formában nem készülhetett volna el.

## Irodalomjegyzék

- [1] K. Kraus: *Fotogrammetria*, Tertia Kiadó, Budapest, 1998, ISBN: 963-85129-9-7, 1., 2.3, 4., 6.1-6.3, 7. fejezetek
- [2] Mélykúti G.: *Fotogrammetria hallgatói segédlet*, Fotogrammetria és Térinformatika Tanszék, BME, 2007, HEOP/2004/3.3.1/0001.0  
URL:<http://www.fmt.bme.hu/fmt/oktatas/feltoltesek/BMEEOFTAG12/ag12segedlet.pdf> (2015.10.01)
- [3] Detrekői Á., Szabó Gy.: *Térinformatika*, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 2002, ISBN 963-19-39-32-4, 5. fejezet, pp. 102-107.
- [4] Berke J., Kelemen D., Kozma-Bognár V., Magyar M., Nagy T., Szabó J., Temesi T.: *Digitális képfeldolgozás és alkalmazásai*, DIGKEP v7.0, Oktatási segédlet, Veszprémi Egyetem, 2010, ISBN 978-963-06-7825-4 pp. 47.
- [5] Balogh R.: *Légifelvételezés a természettudomány szolgálatában*, Repüléstudományi Konferencia 2013, On-Line tudományos folyóirat, XXV. évfolyam, 2. szám.  
URL: [http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013\\_cikkek/2013-2-45-Balogh\\_Reka.pdf](http://www.repulestudomany.hu/kulonszamok/2013_cikkek/2013-2-45-Balogh_Reka.pdf) (2015.10.01)
- [6] Kozma-Bognár V.: Hiperspektrális felvételek feldolgozásának és mezőgazdasági alkalmazásának vizsgálata, Doktori (PhD) értekezés, Pannon Egyetem, Állat- és Agrárkörnyezet-tudományi Doktori Iskola, Keszthely, 2012, pp. 10-16.  
URL: [http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2012/Kozma-Bognar\\_Veronika\\_dissertation.pdf](http://konyvtar.uni-pannon.hu/doktori/2012/Kozma-Bognar_Veronika_dissertation.pdf) (2015.10.09)
- [7] Berke J., Bíró T., Budai P., Kovács, L.D., Kozma-Bognár V., Nagy T., Tomor T., Németh T.: *Application of Remote Sensing in the Red Mud Environmental Disaster in Hungary*, Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 8, No. 2., 2013, ISSN 1844-489X, pp. 49-54.  
URL:[http://www.researchgate.net/publication/261875346\\_Application\\_of\\_remote\\_sensing\\_in\\_the\\_red\\_mud\\_environmental\\_disaster\\_in\\_hungary](http://www.researchgate.net/publication/261875346_Application_of_remote_sensing_in_the_red_mud_environmental_disaster_in_hungary) (2015.10.01)
- [8] Kovács K., *Térinformációs rendszerek és alkalmazásaik intelligens környezetekben* (BMEVIHIA08), 2012, előadás diák, Létrehozás 3-4, URL: <https://www.vik.bme.hu/kepzes/targyak/VIHIAV08/> (2012.11.19)
- [9] Koós Á., *Digitális Terepmodellek – A vezeték nélküli összeköttetések tervezésében*, Távközlési Könyvkiadó, Budapest, 1996, ISBN 963-7588-49-3, *A térképek*, pp. 11-19.
- [10] D. P. Paine, J. D. Kiser: *Aerial Photography and Image Interpretation*, John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2003, ISBN 0-471-20489-7, Second Edition, 3 *Principles of Stereoscopic Vision*
- [11] Czímber K.: Geoinformatika, in: Térinformatikai fogalomtár.  
URL: [http://gisfigyelo.geocentrum.hu/kisokos/kisokos\\_ortofoto.html](http://gisfigyelo.geocentrum.hu/kisokos/kisokos_ortofoto.html) (2015.10.12)

- [12] *AODV protokoll leírás*, IETF hivatalos honlap,  
URL: <https://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt> (2015.10.13)
- [13] *Ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing*, Department of Computer Science, Cornell University, New York, USA  
URL: <https://www.cs.cornell.edu/people/egs/615/aodv.pdf> (2015.10.13)
- [14] Imre S., *Mobil infokommunikációs hálózatok* (BMEVIHIM218), 2014, előadás-diák: *Ad-hoc hálózatok*  
URL: [http://www.mcl.hu/?q=en/education/mobile\\_infocommunication\\_networks](http://www.mcl.hu/?q=en/education/mobile_infocommunication_networks) (2014.12.02)
- [15] Fezekas P., *Mobil infokommunikációs rendszerek* (BMEVIHIA317), 2012, óravázlat (21-22): *Adhoc hálózatok*,  
URL: [http://www.mcl.hu/~fazek/mobil\\_infokom\\_oravazlat/index.html](http://www.mcl.hu/~fazek/mobil_infokom_oravazlat/index.html) (2015.10.13)
- [16] Vidács A., *Infokommunikáció a közlekedésben* (BMEVITMJV27), 2011, előadás-diák: *Útvonalválasztás MANET hálózatokban*  
URL: <http://www.tmit.bme.hu/vitmjv27-2011> (2015.10.13)
- [17] J. Lawhead, *QGIS Python Programming Cookbook*, 2015, ISBN: 978-1783984985
- [18] *A JSON formátum leírása*, hivatalos oldal,  
URL: <http://www.json.org> (2015.09.02)
- [19] *The JSON Data Interchange Format*, 1st edition, Ecma International, Geneva (Genf), Svájc, 2013,  
URL: <http://www.ecma-international.org/publications/files/ECMA-ST/ECMA-404.pdf> (2015.09.02)
- [20] Schowengerdt R. A., *Remote Sensing Models and Methods for Image Processing*, Elsevier, USA, 2007, ISBN: 978-0-12-369407-2, Third Edition, pp. 2.
- [21] *Magyar Nagylexikon*, 17. kötet, Magyar Nagylexikon Kiadó, Budapest, 2003, pp. 239

# Ábrajegyzék

1. ábra: A centrális vetítés módszere .....	10
2. ábra: A tér centrális vetítése .....	11
3. ábra: Az ortogonális vetítés módszere .....	12
4. ábra: A képdőlésből és magasságkülönbségből fakadó torzítás szemléltetése .....	13
5. ábra: Az EOVS koordinátarendszere .....	14
6. ábra: Az EOVS szelvényezése (1:100000-es méretarány).....	14
7. ábra: Az EOVS 1:100 000 és 1:50 000 szelvények kapcsolata.....	15
8. ábra: A természetes térlátás szemléltetése .....	16
9. ábra: A repülési terv geometriai elrendezése sík terület esetén.....	18
10. ábra: A repülési soron belüli (balra) és sorok közötti (jobbra) légifelvételek átfedésének számítása..	19
11. ábra: A szomszédosság vizsgálat poligonpárjai kiválasztásának folyamatábrája .....	22
12. ábra: A soron belüli poligonok átfedési értékének számítási módjai .....	23
13. ábra: Egy 8 és egy 16 pontból álló poligon geometriai elrendezése .....	24
14. ábra: A határpolygon pontjai átfedés vizsgálatának szemléltetése .....	27
15. ábra: A QGIS program rétegekből álló megjelenítési rendszere.....	31
16. ábra: Egy átfedési adatokat tartalmazó szöveges állomány tartalma (részlet) .....	33
17. ábra: A shape fájlba írt attribútumok QGIS által megjelenített képe .....	34
18. ábra: Elemzési beállítások paraméterei (részlet) .....	34
19. ábra: Az inicializációs JSON fájl tartalma (részlet) .....	35
20. ábra: Egy sikeres futtatás során kiírt információs üzenetek .....	36
21. ábra: Egy shape fájl vizuális poligonhálója .....	36
22. ábra: A soron belüli és sorok közötti átfedési hiba vizsgálata toleranciaküszöb beállítása nélkül .....	37
23. ábra: A soron belüli és sorok közötti átfedési vizsgálata 1 %-os toleranciaküszöb esetén .....	37
24. ábra: Az átfedési értékek alapján kategorizált poligonok eloszlásának vizsgálata.....	38
25. ábra: A hibás poligonok arányának változása a határparaméterek változása esetén.....	39
26. ábra: Az alkalmazás részfeladatainak egymáshoz viszonyított időigénye .....	42
27. ábra: Az alkalmazás futási idejének vizsgálata a poligonok számának függvényében .....	42